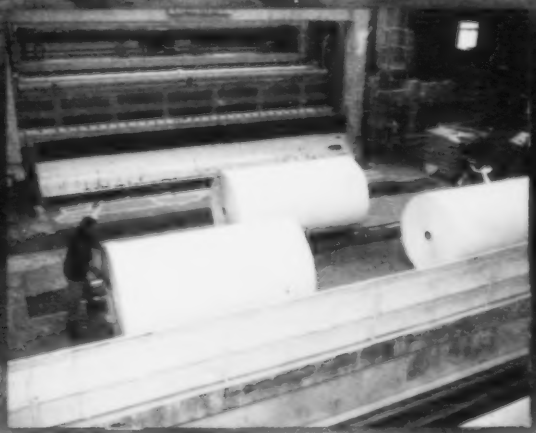
Canadian Industry Program for Energy Conservation

CIPEC

Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry

– An Energy Benchmarking Perspective

D.W. Francis, M.T. Towers and T.C. Browne
Pulp and Paper Research Institute of Canada
(Paprican)



Natural Resources Canada | Ressources naturelles Canada

Canada

Leading Canadians to Energy Efficiency at Home, at Work and on the Road

The Office of Energy Efficiency of Natural Resources Canada strengthens and expands Canada's commitment to energy efficiency in order to help address the challenges of climate change.

Canada

106-00627/

Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry

— An Energy Benchmarking Perspective

D.W. Francis, M.T. Towers and T.C. Browne
Pulp and Paper Research Institute of Canada
(Paprican)

Energy Cost Reduction
in the
Pulp and Paper Industry
– An Energy Benchmarking Perspective

This document was developed under the guidance of the Energy Committee of the:
PULP AND PAPER TECHNICAL ASSOCIATION OF CANADA
740 Notre-Dame West, Suite 1070
Montréal, QC, Canada H3C 3X6
Tel.: (514) 392-0265
Fax: (514) 392-0369

Cat. No. M92-237/2002
ISBN 0-662-66163-X

© Her Majesty the Queen in Right of Canada, 2004

To receive additional copies of this publication, please write to the following address:
Industrial Programs Division
Office of Energy Efficiency
580 Booth Street, 18th Floor
Ottawa ON K1A 0E4
Fax: (613) 992-3161

You can also view or order several of the Office of Energy Efficiency's publications on-line. Visit our Energy Publications Virtual Library at oee.nrcan.gc.ca/infosource. The Office of Energy Efficiency's Web site is at oee.nrcan.gc.ca.

Printed on
Recycled paper

TABLE OF CONTENTS

INTRODUCTION 5

THE MODEL KRAFT MARKET PULP MILL 6
- Conveying Chips 7
- Digester 7
- Washing and Screening 7
- Oxygen Delignification 8
- Bleaching 8
- Pulp Machine 8
- Black Liquor Evaporation 9
- Power Plant 9
- Lime Kiln and Recausticizing 9
- Hot Water System 10
- Waste-Water Treatment 10
- Miscellaneous 10

ENERGY CONSUMPTION IN EXISTING AND MODEL KRAFT MARKET PULP MILLS 10

THE MODEL NEWSPRINT MILL 14
- Thermomechanical Pulp Mill 15
- Recycled Fibre Mill 16
- Paper Machine 16
- Effluent Treatment 16
- Integrated Newsprint Mill 17

ENERGY CONSUMPTION IN EXISTING AND MODEL NEWSPRINT MILLS 20

ENERGY COST REDUCTION IN EXISTING MILLS 22
- Management Overview 22
- Process Analysis and Energy Optimization 23
- Processes and Process Equipment 24
- Energy Purchasing Strategies 24
- Project Identification and Selection 25
- Continuous Performance Monitoring and Improvement 26

CONCLUSION 26

REFERENCES 28

LIST OF FIGURES

Figure 1. Process steam consumption – kraft mills 11
Figure 2. Process electricity consumption – kraft mills. 11
Figure 3. Purchased fossil fuel demand – kraft mills. 12
Figure 4. Net electricity demand – kraft mills. 13
Figure 5. Process steam consumption – newsprint mills. 20
Figure 6. Process electricity consumption – newsprint mills. . . 20
Figure 7. Purchased fossil fuel demand – newsprint mills. 21

LIST OF TABLES

Table I. Modern Kraft Market Pulp Mill – Steam and Electricity Consumption 7

Table II. Modern Kraft Market Pulp Mill – Steam and Electricity Generation 7

Table III. Modern Kraft Market Pulp Mill – Purchased Energy Required 7

Table IV. TMP Mill – Steam and Electricity Consumption 15

Table V. Newsprint Paper Machine – Steam and Electricity Consumption 16

Table VI. Modern Newsprint Mill – Steam and Electricity Consumption 18

Table VII. Modern Newsprint Mill – Energy Consumption 18

Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry

D.W. Francis, M.T. Towers and T.C. Browne
Pulp and Paper Research Institute of Canada (Paprican)

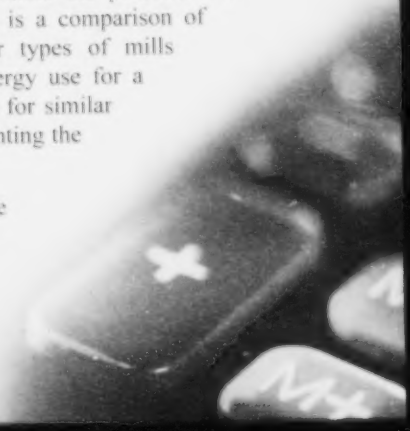
INTRODUCTION

Energy use reduction can provide cost savings, often with low capital investment. It is a complex task, but is accessible to non-specialists with appropriate training. This document discusses the motivation for developing an energy efficiency program. In particular, it addresses two questions:

1. What is the potential for energy use reduction in pulp and paper mills?
2. How can this potential energy use reduction be achieved?

Benchmarking provides a means to determine the potential for energy reduction. A benchmarking study is a comparison of the competitive situation among similar types of mills producing the same product [1]. The energy use for a particular mill can be compared with that for similar mills or with that for a model mill representing the current best practice.

To illustrate the potential to reduce energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions, benchmarking studies were performed for the two largest production segments of the Canadian pulp



and paper industry: kraft market pulp and newsprint. In each case the energy consumption for a modern mill was determined using current proven technology and compared with that for existing Canadian mills [2].

THE MODEL KRAFT MARKET PULP MILL

The model kraft market pulp mill produces fully bleached market pulp from wood chips transported from local sawmills. It utilizes the most energy-efficient unit operations that have been proven technically feasible. The power boiler uses hog fuel, and condensing-extracting steam turbines are used to produce electricity. The total liquid effluent from the mill would be approximately 35 m^3/Airdried tonne (ADt).

The energy consumption for the model mill is shown in Table I; the energy production is shown in Table II; and the purchased energy consumption is shown in Table III. The process design for the model mill is described in detail below.

Conveying Chips

It is assumed that chips are purchased from sawmill operations. Belt conveyers would be used to transfer the wood chips from the chip piles to the pre-steaming vessel. Heat from black liquor flash tanks is used to preheat chips in the pre-steaming vessel; thus, no live steam is required. The electricity requirement for the conveying operations is estimated at 20 kWh/ADt [3].

Digester

The cooking process for a modern kraft mill would be modified continuous cooking (MCC) in a Kamyr digester. The target Kappa number (for softwood) would be 30 to preserve wood yield. Live steam requirement for this process would be 1.7 GJ/ADt [3], and the total electricity demand would be 40 kWh/ADt [3].

Table I. Modern Kraft Market Pulp Mill – Steam and Electricity Consumption

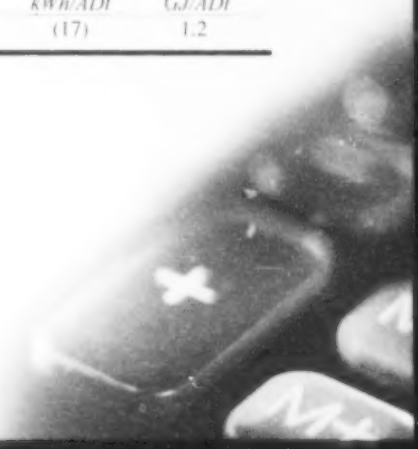
	Steam GJ/ADt	*Electricity kWh/ADt*
Chip conveying	0.0	20
Digester	1.7	40
Washing and screening	0.0	30
Oxygen delignification	0.5	75
Bleaching	2.3	100
Pulp machine	2.3	141
Black liquor evaporators	3.1	30
Power plant	2.3	60
Kiln and recausticizing	0.0	50
Hot water supply	0.0	32
Waste-water treatment	0.0	30
Miscellaneous	0.0	30
Total Consumption	**12.2**	**638**

Table II. Modern Kraft Market Pulp Mill – Steam and Electricity Generation

	Steam GJ/ADt	*Electricity kWh/ADt*
Recovery boiler	15.8	655
Total Generation	**15.8**	**655**

Table III. Modern Kraft Market Pulp Mill – Purchased Energy Required

	Steam GJ/ADt	*Electricity kWh/ADt*	*Natural Gas GJ/ADt*
Amount purchased (excess)	0.0	(17)	1.2



Washing and Screening

High-efficiency washers, such as pressure filters, are employed for brownstock washing. Inlet consistencies for these washers is about 4 percent, more than double that of a conventional vacuum drum washer, which reduces the amount of vat dilution to be pumped. However, the blower required to pressurize the washer consumes the electrical energy savings. The net result is better washing for approximately the same energy requirement. The screen room is closed, and screening is done at 5 percent consistency. The higher consistency reduces pumping requirements. Condensate from the mill's black liquor evaporators is used as wash water. No live steam is required for washing and screening. The electricity requirement is estimated to be 30 kWh/ADt [3].

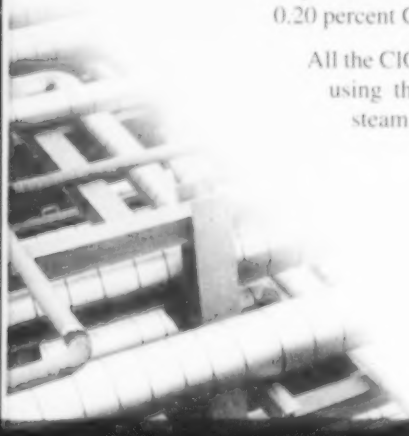
Oxygen Delignification

Oxygen delignification is used to further delignify the pulp prior to bleaching. Approximately 60 percent delignification is achieved in two stages. Two stages of post-oxygen washing are required; twin roll presses would be used. The live steam required to heat the oxygen stages would be 0.5 GJ/ADt [3], and the electricity required for the area would be 75 kWh/ADt.

Bleaching

A modern mill is able to achieve fully bleached pulp from a four-stage elemental chlorine free (ECF) bleach plant. A $D_0E_{op}D_1D$ bleaching sequence is used. High-efficiency pressure filters are used for washing between bleaching stages. All stages are medium consistency to reduce pumping requirements. The D_0 stage is at 60°C and uses 0.96 percent ClO_2 on pulp. The E_{op} stage is at 90°C and uses 1.50 percent NaOH on pulp. The D_1 stage is at 70°C and uses 0.75 percent ClO_2 on pulp. The D stage is at 70°C and uses 0.20 percent ClO_2 on pulp.

All the ClO_2 is generated on-site from sodium chlorate using the R10 process. NaOH is purchased. The steam requirement for ClO_2 generation is



0.2 GJ/ADt [4]. The steam requirement for heating throughout the rest of the bleach plant is about 2.1 GJ/ADt. The electricity requirement for the bleach plant would be 100 kWh/ADt.

Pulp Machine

A double-wire press section is used to achieve 50 percent consistency into the dryer section on the machine. This equipment has reduced steam use to 2.3 GJ/ADt at one mill [3]. Electricity consumption was reported at 141 kWh/ADt [3].

Black Liquor Evaporation

Weak black liquor is produced at 15 percent solids, which is then evaporated to 78 percent solids using a seven-effect multiple-effect evaporation system with an integrated superconcentrator. Steam economy is estimated at 6.0 kg water/kg steam for such an arrangement. The black liquor contains 1.6 kg solids/kg pulp. The steam requirement for the evaporators is calculated to be 3.1 GJ/ADt. The electricity requirement would be 30.0 GJ/ADt [3].

Power Plant

The mill would use a high solids recovery boiler that achieves a 75 percent heat-to-steam efficiency. Heating value of black liquor would be approximately 6250 Btu/lb. solids (21.0 GJ/ADt pulp). The boiler air is heated to 150°C using steam, and minimal use of soot blowers is employed, consuming 0.9 GJ/ADt of steam. The mill would recover 70 percent of steam condensate, and the resulting energy use in the deaerator is 1.0 GJ/ADt. Condensing-extracting steam turbines are used to produce electricity with a power-to-heat ratio of 100 kWh/GJ. The mill's power boiler uses hog fuel and achieves a heat-to-steam efficiency of 70 percent. The mill generates 15.8 GJ/ADt in the recovery boiler to satisfy the heat requirements of the process and electricity generation needs. A backpressure steam turbine generates 520 kWh/ADt of electricity, while excess high-pressure steam generates

another 135 kWh/ADt through a steam-condensing turbine. Therefore, the total electricity generation by the mill is 655 kWh/ADt. The power plant has a parasitic electricity need of about 60 kWh/ADt [3].

Lime Kiln and Recausticizing

The kiln utilizes flash drying and product coolers to minimize energy consumption. Natural gas is used to provide the 1.2 GJ/ADt of heat energy required. Pressure filters are used for solids separation from process liquors. Electricity requirements will be 50 kWh/ADt [3].

Hot Water System

Warm water (50°C) is produced through heat recovery in the evaporator condensers. Hot water (70°C) is produced through heat recovery from the digester surface condenser, cold blow liquor cooling and black liquor cooling. Hot water for use on the pulp machine will be generated using heat recovery from the dryer section. Electricity requirements are 32 kWh/ADt.

Waste-Water Treatment

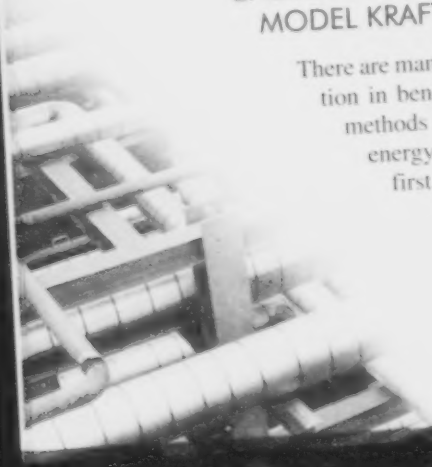
Mill effluent is treated in a primary clarifier and secondary activated sludge basin. Total mill effluent is 35 m^3/ADt. A cooling tower is required to remove process heat. Electricity requirements are 30 kWh/ADt for aeration and pumping.

Miscellaneous

This includes HVAC, lighting, office use, etc. No live steam is required. The electricity requirement is approximately 30 kWh/ADt.

ENERGY CONSUMPTION IN EXISTING AND MODEL KRAFT MARKET PULP MILLS

There are many ways to compare mill energy consumption in benchmarking studies. We will look at two methods for kraft market pulp mills: process energy consumption and energy purchases. The first provides a measure of the specific energy



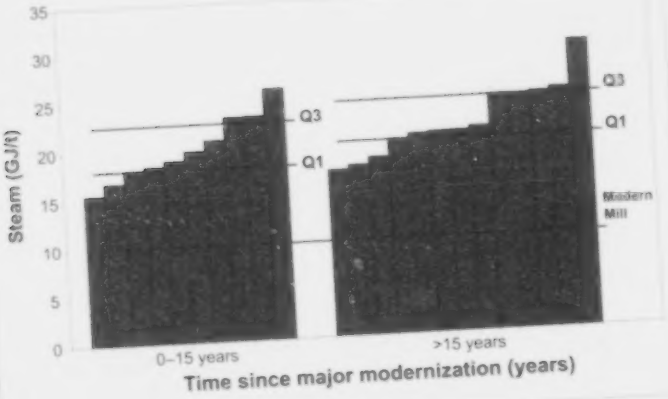


Figure 1. Process steam consumption – kraft mills

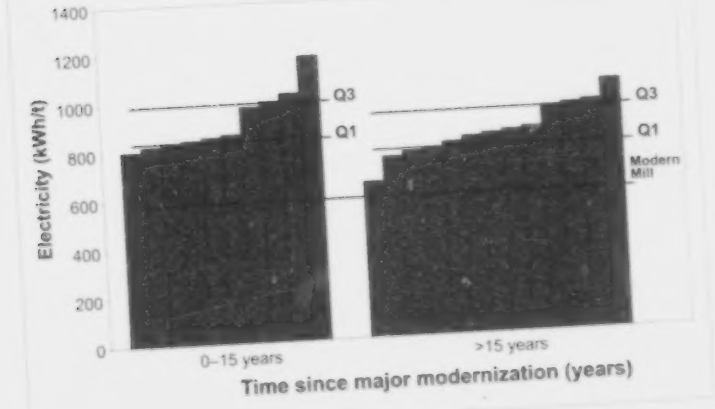


Figure 2. Process electricity consumption – kraft mills

used in pulp and paper manufacturing. The second is influenced by this process energy consumption and also by how that energy is supplied to the

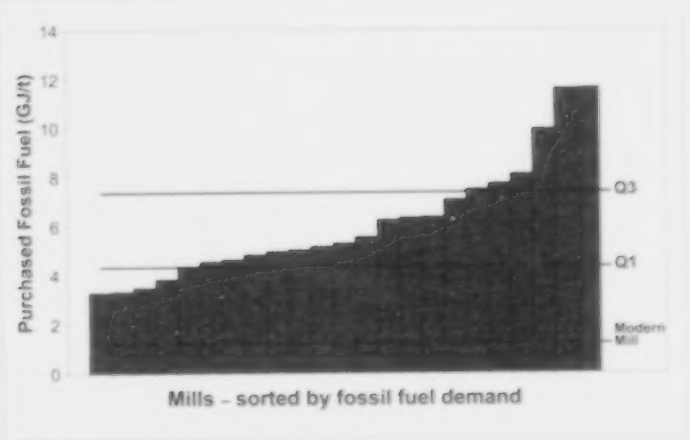


Figure 3. Purchased fossil fuel demand – kraft mills

manufacturing operations. It provides a measure of the costs for energy, both economic and environmental.

The process steam and electricity consumptions for Canadian kraft market pulp mills are shown in Figures 1 and 2. The steam and electricity consumptions were calculated from data in the *CPPA Energy Monitoring Report* for 1999 [2]. The kraft mills are grouped according to the time since their last major modernization. Also shown are the steam and electricity requirements for the model kraft mill.

The data in Figures 1 and 2 show that both older and modernized mills have greater energy consumption than the modern mill. Also, there is little difference in the energy consumption for older and modernized kraft mills. The first and third quartile steam consumption for older mills is only slightly higher than that for modernized mills; the electricity consumption for older mills is slightly lower than that for modernized mills. Some of the older

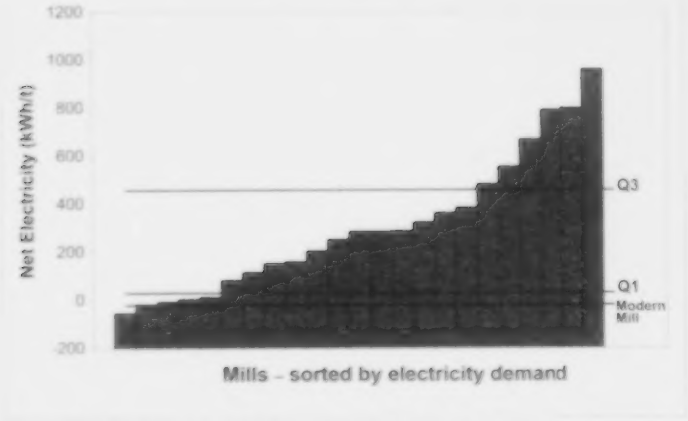


Figure 4. Net electricity demand – kraft mills

facilities are among the lowest overall consumers of process steam and electricity. Thus, new and modernized mills are not achieving the optimum energy consumption levels possible for a modern mill.

The fossil fuel and electricity purchases for kraft mills are shown in Figures 3 and 4. The energy purchases are generally higher than those for the modern mill for two reasons. First, the specific energy used in pulp and paper manufacturing is higher than for the modern mill. Second, how that energy is provided influences the amount of energy purchased. The lower amount of process steam required by the modern mill enables excess steam to be used in a steam-condensing turbine to generate more electricity than a conventional process.

The modern mill uses fossil fuel primarily for the operation of the lime kiln, 1.20 GJ/ADt. Some fossil fuel would also be required for startup of the recovery boiler after a shut-down, but this amount would be very small. The mill would also have a fossil fuel powered

package boiler to provide steam as required during periods of major upset or transition. The average Canadian kraft mill purchased 5.99 GJ/ADt of fossil fuel in 1999, consisting of 4.24 GJ/ADt of natural gas and 1.75 GJ/ADt of fuel oil and other fossil fuels. Assuming a cost of $3.40/GJ for natural gas and $4.03/GJ for fuel oil, the modern mill has $17.39/ADt lower fossil fuel costs than the average Canadian mill.

The modern mill produces all its electricity requirements by steam-condensing and backpressure turbines, with a slight excess of 17 kWh/ADt. There is a large variation in the electricity purchases in Figure 4, resulting from large variations in the amount of power generated by mills. The average electricity purchase was 272 kWh/ADt. Assuming a cost of $0.04/kWh for electricity, the modern mill has $11.56/ADt lower electricity costs than the average Canadian mill.

Thus, there is considerable potential for operating cost savings by optimizing energy usage in kraft market pulp mills. Possible savings for an individual mill can be quickly estimated. First, select a benchmark target; we recommend selecting a target from Figures 1 and 2 midway between the first quartile and modern mill optimum performance for both process steam and electricity. Subtract these figures from the current consumption levels and multiply by the incremental energy costs. This quick reference can help mills to assign priority to energy objectives.

THE MODEL NEWSPRINT MILL

The model newsprint mill consists of a pulp mill and paper machine along with an effluent treatment facility. The fibre furnish for a modern newsprint mill would consist of thermomechanical pulp (TMP) and/or recycled fibre depending on the fibre availability and market requirements. The energy requirements for pulping and paper making operations are described in the following sections.

Table IV. TMP Mill – Steam and Electricity Consumption

	Steam GJ/ADt	*Electricity kWh/ADt*
Chip handling		40
Refiners		2160
Pumps, screens, agitators, blowers		240
Heat recovery	-5.5	10
Total Consumption	**-5.5**	**2450**

Thermomechanical Pulp Mill

The energy consumption of a modern TMP mill is shown in Table IV. The mill produces TMP for newsprint manufacture from softwood chips. Jackson and Wild estimated the energy consumption for a 500 BDMT/D single-line TMP mill [5]. The total specific refining energy was 2400 kWh/BDMT, which is typical for TMP from black spruce chips for newsprint production [5]. For comparison, reference may be made to a detailed industrial audit complied by Nygaard [6] for Swedish TMP mills, mostly producing for newsprint. Average external power demand for these mills was similar, about 2420 kWh/ADt.

TMP refining energy is affected by wood species; common Canadian species such as pine require more energy than black spruce [7]. Refining energy is also sensitive to paper grade, with higher-quality mechanical printing paper grades requiring higher energy. Though there are new processes for reducing refining energy somewhat [8], consistent industrial performance has not yet been achieved.

Heat recovery is used in modern TMP newsprint mills to recover some of the refining energy in the form of clean pressurized steam. The clean steam production in Table IV was calculated for heat recovery of the steam from the mainline and rejects refiners by a reboiler [5]. The estimated steam production for the modern TMP mill, 5.5 GJ/ADt, is similar to the possible steam

production calculated by Nygaard, 5.2 GJ/ADt, for the same specific refining energy [6]. The average excess steam production for Swedish TMP mills in 1994 was lower, about 4.4 GJ/ADt [6].

Recycled Fibre Mill

The electricity consumption of a modern recycled fibre mill producing de-inked pulp (DIP) for newsprint manufacture is 400 kWh/ADt [3]. The average external power demand for Swedish recycled fibre mills in 1994 was lower, about 330 kWh/ADt [6]. The steam consumption of a modern recycled fibre mill is 0.8 GJ/ADt, taken from the model recycled fibre mill in Nygaard [6]. The average fuel heat demand for Swedish recycled fibre mills in 1994 was lower, about 0.3 GJ/ADt [6].

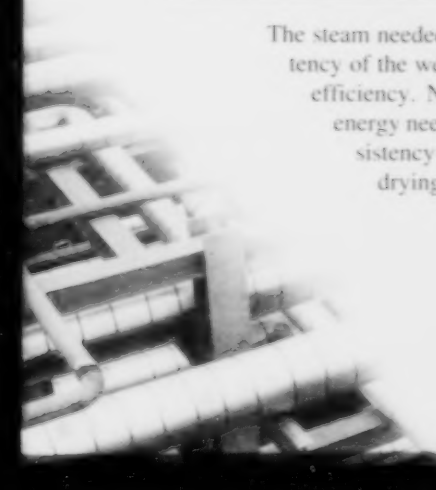
Paper Machine

The energy consumption for a modern newsprint paper machine is shown in Table V [9]. The average electricity consumption for Swedish newsprint paper mills in 1994 was higher, about 440 kWh/ADt [6]. Talja et al. measured 344 kWh/ADt electricity consumption for a modern paper machine producing SC paper [10].

Table V. Newsprint Paper Machine – Steam and Electricity Consumption

	Steam GJ/ADt	*Electricity kWh/ADt*
Stock preparation	0.7	100
Forming, pressing	0.3	140
Drying, finishing, auxiliary systems	3.4	90
Total Consumption	**4.4**	**330**

The steam needed for paper drying depends on the consistency of the web after the press section and the machine efficiency. Nilsson et al. reported that the minimum energy needed for drying from 50 to 90 percent consistency is 2.26 GJ/ADt of paper produced [3]. The drying steam consumption of 3.4 GJ/ADt is



equivalent to the steam needed to dry the web from 43 percent consistency, assuming 1.25 kg steam per kg of water evaporated [11] and 10 percent paper machine losses due to trim and machine breaks. Talja et al. measured 2.71 GJ/ADt total steam consumption for a modern paper machine producing SC paper [10].

Effluent Treatment

The effluent treatment consists of primary clarification and activated sludge treatment. The electricity consumption for effluent treatment is 60 kWh/ADt [5].

Integrated Newsprint Mill

The energy consumption for three modern integrated newsprint mills is shown in Table VI. The pulp furnish for the three mills are TMP, DIP and 80 percent TMP + 20 percent DIP. The recycled fibre content of the TMP/DIP newsprint mill was chosen to match the average recycled content of newsprint mills in the *CPPA Energy Monitoring Report* [2].

The differences in steam and electricity consumption among the three mills are related to the energy needed for pulping and heat recovery. DIP production requires less energy than TMP production but does not produce steam that can be recovered and re-used in the paper machine. The potential clean steam production by heat recovery in the TMP newsprint mill is greater than the paper machine steam requirement, giving a net steam production of 1.1 GJ/ADt.

The energy consumption for the TMP newsprint and DIP newsprint mills in Table VI is similar to that reported by Lähepelto, based on a study made by Jaakko Pöyry [12]. The energy consumption reported for a modern TMP newsprint mill was -1.33 GJ/ADt heat and 2190 kWh/ADt electricity [12]. The difference in electricity consumption is due to different specific energies for TMP refining. The energy consumption reported for a modern DIP newsprint mill was 5.27 GJ/ADt heat and 870 kWh/ADt electricity [12].

Table VI. Modern Newsprint Mill – Steam and Electricity Consumption

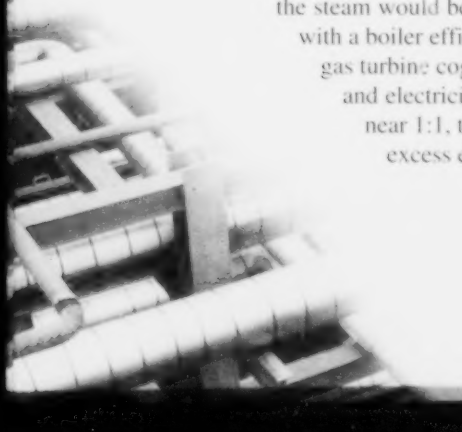
	TMP		*DIP*		*80% TMP + 20% DIP*	
	Steam GJ/ADt	*Electricity kWh/ADt*	*Steam GJ/ADt*	*Electricity kWh/ADt*	*Steam GJ/ADt*	*Electricity kWh/ADt*
TMP	-5.5	2450			-4.4	1960
DIP			0.8	400	0.2	80
Paper machine	4.4	330	4.4	330	4.4	330
Effluent treatment		60		60		60
Total Consumption	**-1.1**	**2840**	**5.2**	**790**	**0.2**	**2430**

Table VII. Modern Newsprint Mill – Energy Consumption

	TMP	*DIP*	*80% TMP + 20% DIP*
Electricity, kWh/ADt	2840	790	2430
Fossil fuel, GJ/ADt	0.5	6.1	0.8

The purchased energy consumption for the three modern integrated newsprint mills is shown in Table VII. For the TMP newsprint mill, no steam needs to be generated by burning fossil fuels during normal TMP mill operation due to the excess steam produced by heat recovery. However, a backup steam system including a package boiler and steam accumulator is needed to provide process steam during upset conditions [5]. It was assumed in Table VII that a natural gas fired boiler would provide backup steam equivalent to 10 percent of the paper machine steam consumption with a boiler efficiency of 85 percent.

The DIP newsprint mill requires steam since less energy is used for pulping and there is no heat recovery. The steam can be provided in two ways. First, fossil fuel and sludge could be burned to produce steam. It was assumed in Table VII that the steam would be provided by natural gas fired boiler with a boiler efficiency of 85 percent. Alternatively, a gas turbine cogeneration plant could produce steam and electricity. Assuming a power-to-steam ratio near 1:1, the cogeneration plant would produce excess electricity that could be sold [13].



The TMP/DIP newsprint mill supplies most of its steam requirement by heat recovery under normal operating conditions. However, a backup steam system is also needed to provide process steam during upset conditions in the TMP mill. It was assumed in Table VII that a natural gas fired boiler would provide 0.2 GJ/ADt continuous steam and backup steam equivalent to 10 percent of the paper machine steam consumption with a boiler efficiency of 85 percent.

The modern newsprint mill was assumed to have heat recovery of mainline and reject refiners. Some mills may choose not to recover reject refiner steam, increasing the steam demand from the power boiler. This steam demand would be met by burning hog fuel and sludge. In 1999, Canadian newsprint mills produced 3.97 GJ/ADt of steam from hog fuel and sludge [2]. Thus, this lower heat recovery would not necessarily increase the fossil fuel consumption and the resulting GHG emissions.

ENERGY CONSUMPTION IN EXISTING AND MODEL NEWSPRINT MILLS

The process steam and electricity consumptions for newsprint mills are shown in Figures 5 and 6. The steam and electricity consumptions were calculated from data in the *CPPA Energy Monitoring Report* for 1999 [2]. The mills in the CPPA survey used TMP and/or recycled fibre, with an average recycled fibre content of about 20 percent.

In Figure 5, the process steam consumption varied from 2.52 to 12.69 GJ/t, greater than the steam demand of 0.64 GJ/t for the modern newsprint mill. This large variation results from differences in the amount of steam used in the process and differences in heat recovery of refiner steam. Recycled fibre content also affects the steam consumption, since no refiner steam is available for heat recovery in a recycled fibre mill.

The fossil fuel purchases for newsprint mills are shown in Figure 7. The fossil fuel purchases are generally higher than those for the modern mill due to greater steam usage in the process and lower heat recovery. Some mills use large amounts of hog fuel for steam generation, reducing fossil fuel purchases.

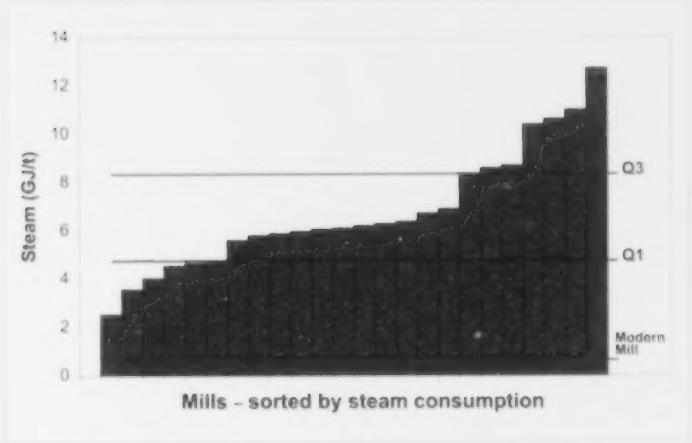


Figure 5. Process steam consumption – newsprint mills

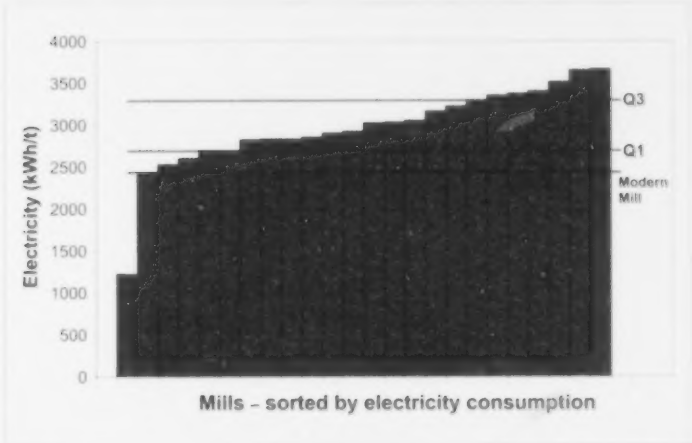
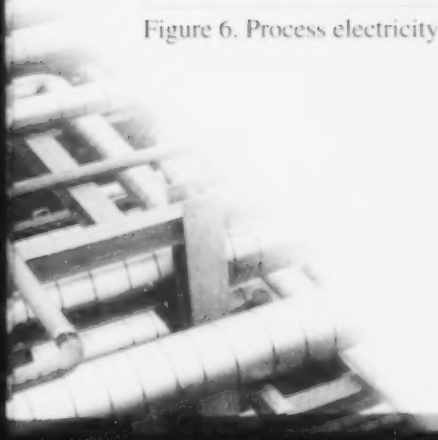


Figure 6. Process electricity consumption – newsprint mills



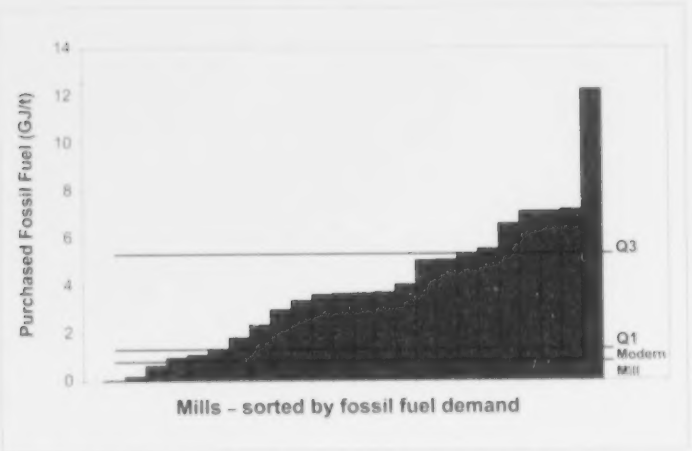


Figure 7. Purchased fossil fuel demand – newsprint mills

The modern mill provides most of its steam requirement by heat recovery under normal operating conditions. Fossil fuel, 0.80 GJ/t, is needed only to provide backup steam during upset conditions. The average newsprint mill purchased 3.56 GJ/t of fossil fuel in 1999, consisting of 1.80 GJ/t of natural gas and 1.73 GJ/t of fuel oil and other fossil fuels. It also purchased 0.90 GJ/t of steam. The modern mill has $16.69/ADt lower thermal energy (fossil fuel and steam) costs than the average Canadian mill, assuming that the purchased steam was produced with natural gas.

The process electricity consumption, shown in Figure 6, ranged from 1220 to 3660 kWh/ADt. The variation in electricity consumption is due in part to variations in recycled fibre content and TMP refining energy. The average electricity consumption was 2850 kWh/ADt. Most mills used more electricity than predicted for the modern TMP/DIP newsprint mill, 2430 kWh/ADt. However, most of the electricity used in a TMP/DIP newsprint mill is used for TMP refining. Thus, much of the higher energy input is likely attributable to the wood species employed and the grade of paper produced. Changes in pumping and agitation throughout the mill may result in a 5 percent

overall drop in electricity consumption, or a potential savings of about $5.70/ADt.

Thus, there is also considerable potential for operating cost savings by optimizing energy usage in newsprint mills. Possible savings in fossil fuels for an individual mill can be estimated in the same way as for kraft mills. Possible savings in electricity are more difficult to estimate, since the large electricity use for refining is governed by product quality requirements.

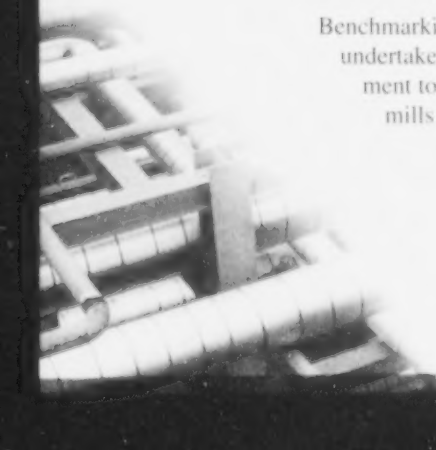
ENERGY COST REDUCTION IN EXISTING MILLS

Converting an existing mill to the specifications of the model mill will frequently be capital intensive and may not be economically feasible when energy costs are the only advantage. However, there is considerable potential for cost-effective energy use reduction in existing pulp and paper mills [14, 16]. Reference [14] contains a detailed examination of best energy practices and provides a set of tools for planning a systematic approach towards achieving these best practices in existing pulp and paper mills. Reference [14], which serves as the basis for a short course in energy efficiency presented by the Pulp and Paper Technical Association of Canada (PAPTAC), is summarized in [15] and outlined next.

Management Overview

The implementation of an energy conservation program frequently requires a change in the culture of a mill. Cultural changes must start with senior management. They must be committed to the process, develop a sound plan of action, provide the leadership and secure the resources. The benefits from an energy conservation program can be large, but they will generally be derived from a large number of smaller gains. Thus, continuous effort is required to retain the benefits long after the projects are implemented.

Benchmarking is one of the first steps a mill should undertake. Benchmarking enables senior management to compare the relative performance of their mills with similar mills or with a model mill



representing the current best practice. It provides the motivation for looking at energy conservation opportunities in mill operations.

Next, an energy efficiency program must be put in place. The program should be led by a mill engineer with sufficient resources allocated for the task, assisted by a team of mill staff, outside consultants and other experts drawn from all areas of mill operations. As described in [1], this cross-functional team will attend to the details of implementing the program.

Process Analysis and Energy Optimization

Existing mills frequently consist of several pulping and papermaking production lines, installed at 10- or 20-year intervals since construction of the original mill. In many cases the original equipment will have been removed, but auxiliary equipment such as steam or water supply systems will still be in place. There will also have been new effluent systems and, perhaps, new boilers or cogeneration plants installed at various intervals. At the time of installation, each new system was integrated with the existing systems to a greater or lesser degree, leading in many cases to a large degree of interdependency between old and new systems. In such a complex process, it is difficult to ensure that energy savings in one part of the operation do not lead to losses elsewhere. A systems engineering approach is essential to ensure that any energy efficiency project reduces the global energy use of the mill, and doesn't merely shift the energy use to another department or mill area.

The simplest process analysis tool is a computer simulation of the mill-wide mass and energy balance. This allows mill staff to play "what if," by implementing projects in the computer model to check the effect on overall mill energy consumption. Models can also predict the seasonal variation in energy savings due to changing fresh water temperatures. Finally, a dynamic simulation allows the unsteady-state behaviour of the system to be analysed so that the effect of a process change on behaviour during upsets can be evaluated.

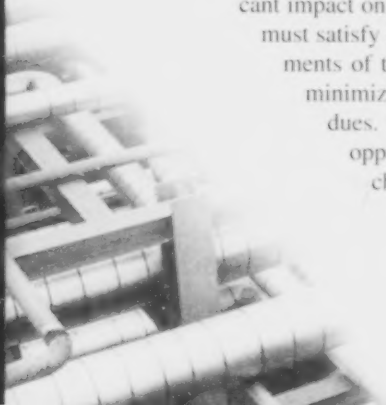
However, playing "what if" can be time-consuming and does not necessarily lead to the best or most effective solution. Process integration tools, such as pinch analysis, identify the minimum theoretical energy consumption level of a process and provide guidelines for the modifications required to reach that minimum level. Pinch analysis is a powerful tool, which must nonetheless be applied with care, as there may be good process reasons why a particular heat recovery project cannot be implemented. As well, the minimum energy consumption levels may require large capital expenditures, and not all heat recovery projects will be economically feasible at a given price for energy. Nonetheless, awareness of the theoretical minimum energy consumption level is a powerful motivator for improving efficiency and reducing waste.

Processes and Process Equipment

Each process area in a mill should be compared with the industry average, and with the model mill, to see how it compares with best practices and where it can be improved. Reference [14] provides guidance on energy use in chemical, mechanical and de-inked pulp mills, in papermaking and in non-process areas such as steam plants, boiler rooms, cogeneration installations and effluent treatment systems. Guidance is also provided on selecting and controlling pump and fans in a cost- and energy-effective manner. Additionally, references [16, 17] provide examples of projects implemented in mills, with estimates of capital costs and operating cost savings. Finally, each mill area is discussed in detail in the PAPTAC short course, "Improving Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry."

Energy Purchasing Strategies

Energy purchasing in a deregulated environment can be a challenging task, and variable energy pricing can have a significant impact on mill operations. Energy sourcing decisions must satisfy a variety of objectives: operational requirements of the mill, cost minimization, CO_2 emissions minimization and disposal of sawmill and other residues. The restructured energy markets provide opportunities to achieve cost savings in purchased energy if mills can be flexible in their



energy use patterns. Considerable changes in operating culture may be required to exploit these opportunities, beginning with more active management of energy demands and increased integration of management and energy purchasing functions. Financial risk management tools will become more important as energy markets are deregulated.

Project Identification and Selection

Ranking and selecting projects is a standard task for mill engineering staff and involves calculating estimated payback, return on investment or some other standard corporate economic indicator. However, there are a number of additional concerns when ranking energy efficiency projects.

For instance, the order in which a series of projects is implemented can have an impact on the total return. As an example, any project where heat is transferred to boiler makeup water will not result in continuous savings if, at a later date, other projects, such as reduced steam consumption or improved condensate return, reduce the flow of makeup water. It is important to be aware of these cross-effects at an early stage in the project selection process.

As well, there may be economic advantages to reducing CO_2 emissions. Emissions trading is still in its infancy but could yield substantial revenues as programs to limit GHG emissions become more widely recognized by legislative and regulatory agencies. The economic benefits arising from reducing energy consumption may exceed the energy cost savings, and could include a credit for every tonne of CO_2 emissions reduction achieved by either reducing fossil fuel consumption or switching from a dirty fuel to a cleaner one.

Finally, opportunities for reducing energy when planning production increases or improvements in product quality should also be considered. Frequently a small additional capital expense for more efficient equipment or processing methods can lead to better payback periods than if the energy project were considered by itself at a later date.

These and other novel project ranking methods should be part of every energy efficiency program.

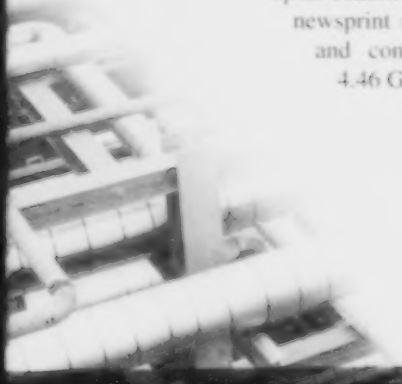
Continuous Performance Monitoring and Improvement

Once capital budgets have been allocated and the projects implemented, it is important to be able to show that the savings continue to be reaped, year after year. As well, it is important to treat energy efficiency as a continuous improvement process: once a set of projects has been implemented, it is important to start planning the next iteration in the energy efficiency program. For these reasons, a continuous monitoring and improvement system must be put in place. A mix of hardware, software and management practices, these systems ensure that once a steam line is shut, it remains shut, that once a process has been adjusted, it remains adjusted, and that the economic benefits continue to accumulate.

CONCLUSION

There is considerable potential for energy use reduction in pulp and paper mills. The model kraft mill can be operated with 9.9 GJ/ADt process steam, 1.2 GJ/ADt process fossil fuel and 578 kWh/ADt process electricity. The process steam and electricity demands can be met by burning the spent pulping liquor and the hog fuel associated with the chip supply. Thus, the only purchased energy is the 1.2 GJ/ADt of fossil fuel needed for the lime kiln. The average existing kraft mill, however, purchases considerably more energy: 5.99 GJ/ADt of fossil fuel and 272 kWh/ADt of electricity.

The model newsprint mill had a fibre furnish of 80 percent TMP and 20 percent DIP. It can be operated with 0.2 GJ/ADt steam and 2430 kWh/ADt electricity. The main steam demands are provided internally by heat recovery from the refiner steam. The purchased energy is primarily electricity, 2430 kWh/ADt, with only 0.8 GJ/ADt fossil fuel needed for the continuous steam demand of 0.2 GJ/ADt and to provide backup steam during upset conditions in the TMP mill. The average existing newsprint mill purchases 2850 kWh/ADt electricity and considerably more steam and fossil fuel, 4.46 GJ/ADt.



Existing mills can approach the lower energy demand of the model mills through an energy efficiency program. The monograph *Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry* contains a detailed examination of best energy practices and provides a set of tools for planning a systematic approach towards achieving these best practices in existing pulp and paper mills [14]. It serves as the basis for a short course in energy efficiency offered by PAPTAC.

REFERENCES

1. Connaghan, C. and Wunderlich, R., "Developing, Implementing and Maintaining an Energy Efficiency Program," Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry, Browne, T.C. tech. ed., Paprican (1999).
2. Energy Monitoring Report, Year ended 31 December 1999, CPPA.
3. Nilsson, L.J., Larson, E.D., Gilbreath, K.R. and Gupta, A., "Energy Efficiency and the Pulp and Paper Industry," American Council for an Energy-Efficient Economy, Berkeley, CA (1995).
4. Bechberger, E.J., "Reduction of Salt Cake and Production of Caustic from a Chlorine Dioxide Generator," Preprints of the 1992 CPPA Spring Conference, Jasper, Alberta (1992).
5. Jackson, M. and Wild, N. "Mechanical Pulp Mills," Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry, Browne, T.C. tech. ed., Paprican (1999).
6. Nygaard, J., Energy aspects on mechanical pulp, chemical pulp and recycled fibres. International Mechanical Pulping Conference:17-27 (1997).
7. Laliberté, D., Shallhorn, P.M. and Karnis, A., Comparison of TMP and CTMP Properties from Spruce and Pine Sawmill Chips. Pulp Paper Can. 88(3):T71-T100 (1987).
8. Corson, S., Mechanics of Making Better Pulp with Less Energy. Pulp Pap. Int. 39(5):61-65 (1997).
9. AF Publication (in Swedish), Models for energy conservation in pulp and paper manufacturing. Stockholm, 1978.
10. Talja, R., Kerttula, R. and Karlsson, M., Future paper production line concepts regarding energy and environmental aspects. Das Papier 51(6A):V203-V207 (1997).
11. Persson, B., Drying section: The least developed part of the paper machine. Nordisk Cellulosa 5(5):75-77 (1988).

12. Lähepelto, J., Rational use of energy in the Finnish paper industry – The sustainable paper energy research programme. Das Papier 51(6A):V200-V203 (1997).
13. Karojärvi, R., Liimatainen, H. and Tapio, M., Impact of advanced co-generation methods on energy demand in mechanical pulping. First EcoPaperTech, an International Conference on Papermaking and Paper-Machine Technology: 303-314 (1995).
14. Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry, Browne, T.C. tech. ed., Paprican (1999).
15. Browne, T.C., Francis, D.W. and Towers, M.T., Energy cost reduction in the pulp and paper industry: an overview. Pulp Paper Can. 102(2):T34-T38 (2001).
16. A Guide to Energy Savings Opportunities in the Kraft Pulp Industry. PAPTAC (2000).
17. Energy Conservation Opportunities, 4 volumes, PAPTAC (1992, 1993, 1994, 2001).

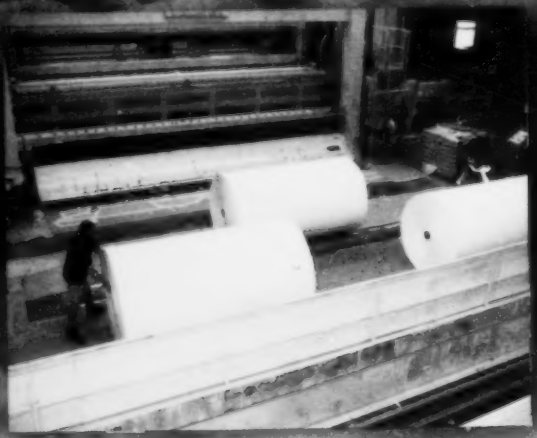
Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne

PEEIC

Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers

– une analyse comparative de l'énergie

D.W. Francis, M.T. Towers et T.C. Browne
Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers
(Paprican)



Ressources naturelles Canada | Natural Resources Canada

Canada

Engager les Canadiens sur la voie de l'efficacité énergétique à la maison, au travail et sur la route

L'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada
renforce et élargit l'engagement du Canada envers l'efficacité énergétique
afin d'aider à relever les défis posés par les changements climatiques.

Canada

Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers

– une analyse comparative de l'énergie

D.W. Francis, M.T. Towers et T.C. Browne
Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers
(Paprican)

Réduction des coûts énergétiques
dans l'industrie
des pâtes et papiers
– une analyse comparative de l'énergie

Ce document a été produit sous la direction du comité de l'énergie de :
ASSOCIATION TECHNIQUE DES PÂTES ET PAPIERS DU CANADA
740 Notre-Dame Ouest, Suite 1070
Montréal (Québec) Canada H3C 3X6
Tél. : (514) 392-0265
Fax : (514) 392-0369

No de cat. : M92-2377/2002
ISBN 0-662-66163-X

© Sa Majesté la Reine du Chef du Canada, 2004

Pour obtenir d'autres exemplaires de cette publication, veuillez écrire à :
Division des programmes industriels
Office de l'efficacité énergétique
Ressources naturelles Canada
580, rue Booth, 18e étage
Ottawa (Ontario) K1A 0E4
Téléc. : (613) 992-3161

Vous pouvez également consulter ou commander d'autres publications de l'Office de l'efficacité énergétique en ligne. Visitez notre bibliothèque virtuelle Publications Éconergie à oee.rncan.gc.ca/infosource. Le site internet de l'Office de l'efficacité énergétique est : oee.rncan.gc.ca.

Imprimé sur
papier recyclé

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION 5

USINE MODÈLE DE PÂTE KRAFT COMMERCIALE 6
- Transport des copeaux 6
- Lessiveur 6
- Lavage et classage 7
- Délignification à l'oxygène 8
- Blanchiment 8
- Machine à pâte 8
- Évaporation de la liqueur noire 9
- Centrale thermique 9
- Four à chaux et caustification 9
- Système d'eau chaude 10
- Traitement des eaux usées 10
- Divers 10

CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LES USINES DE PÂTE KRAFT COMMERCIALE EXISTANTES ET LES USINES MODÈLES 10

USINE DE PAPIER JOURNAL MODÈLE 14
- Atelier de pâte thermomécanique 14
- Usine de fibre recyclée 15
- Machine à papier 16
- Traitement des effluents 17
- Usine de papier journal intégrée 17

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES USINES DE PAPIER JOURNAL EXISTANTES ET DES USINES MODÈLES 19

RÉDUCTION DES COÛTS DE L'ÉNERGIE DANS LES USINES EXISTANTES 22
- Revue de la direction 23
- Analyse des procédés et optimisation énergétique 23
- Procédés et matériel de procédé 24
- Stratégies d'achat d'énergie 25
- Identification et choix des projets 25
- Surveillance et amélioration continues du rendement 26

CONCLUSION 27

RÉFÉRENCES 28

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Consommation de vapeur de procédé – Usines de pâte kraft. 11
Figure 2. Consommation d'électricité de procédé – Usines de pâte kraft. 11
Figure 3. Besoins en combustibles fossiles achetés – Usines de pâte kraft. 12
Figure 4. Demande d'électricité nette – Usines de pâte kraft. 13
Figure 5. Consommation de vapeur de procédé – Usines de papier journal. 20
Figure 6. Consommation d'électricité de procédé – Usines de papier journal. 20
Figure 7. Besoins en combustibles fossiles achetés – Usines de papier journal. 21

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Usine moderne de pâte kraft commerciale – Consommation de vapeur et d'électricité 7
Tableau II. Usine moderne de pâte kraft commerciale – Production de vapeur et d'électricité 7
Tableau III. Usine moderne de pâte kraft commerciale – Besoins en énergie achetée 7
Tableau IV. Atelier de PTM – Consommation de vapeur et d'électricité 15
Tableau V. Machine à papier journal – Consommation de vapeur et d'électricité 16
Tableau VI. Usine moderne de papier journal – Consommation de vapeur et d'électricité 18
Tableau VII. Usine moderne de papier journal – Consommation d'énergie 18

Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers

D.W. Francis, M.T. Towers et T.C. Browne
Institut canadien de recherches sur les pâtes et papiers (Paprican)

INTRODUCTION

La réduction de la consommation d'énergie peut entraîner des économies, souvent moyennant un investissement peu élevé. C'est une tâche complexe, mais accessible aux non-initiés qui ont reçu une formation appropriée. Le présent document, élaboré par l'Office de l'efficacité énergétique de Ressources naturelles Canada de concert avec l'ATPPC et Paprican, explique l'utilité d'un programme d'efficacité énergétique. En particulier, il répond aux deux questions suivantes :

1. Quelles possibilités de réduction de la consommation d'énergie retrouve-t-on dans les usines de pâte et de papier?
2. Comment ces objectifs de réduction peuvent-ils être atteints?

L'analyse comparative est un outil permettant de déterminer les possibilités de réduction de la consommation d'énergie. On compare la situation d'usines similaires fabriquant le même produit [1]. On peut effectivement comparer la consommation énergétique d'une installation

à celle d'usines de même type ou à celle d'une usine modèle représentant les meilleures pratiques actuelles.

Pour illustrer les possibilités de réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre (GES) qui contribuent aux changements climatiques, on a procédé à des analyses comparatives pour les deux principaux secteurs de production de l'industrie canadienne des pâtes et papiers : la pâte kraft commerciale et le papier journal. Dans chaque cas, nous avons déterminé la consommation énergétique d'une usine moderne selon la technologie éprouvée et on l'a comparée à celle d'usines canadiennes existantes [2].

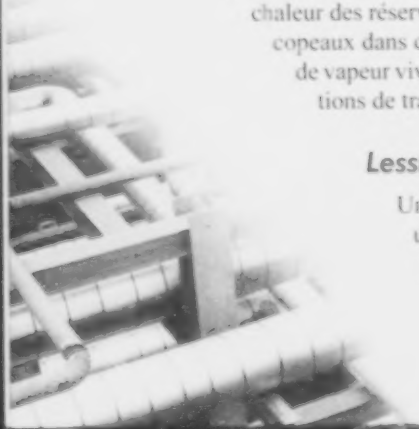
USINE MODÈLE DE PÂTE KRAFT COMMERCIALE

L'usine modèle de pâte kraft commerciale produit de la pâte entièrement blanchie à partir de copeaux de bois transportés des scieries environnantes. Ses opérations ont un rendement énergétique optimal selon ce qui est techniquement réalisable. La chaudière utilise des déchets de bois, et des turbines à vapeur à condensation-extraction servent à produire de l'électricité. L'effluent liquide total émanant de l'usine serait d'environ 35 m^3 par tonne séchée à l'air (t.a.).

La consommation d'énergie de l'usine modèle est décrite dans le tableau I; sa production d'énergie est présentée dans le tableau II. Enfin, sa consommation d'énergie achetée figure au tableau III. La conception de son procédé est décrite en détail ci-dessous.

Transport des copeaux

On présume que les copeaux sont achetés de scieries. Les copeaux de bois sont transportés par des convoyeurs à courroie entre l'aire d'entreposage et les réservoirs de pré-étuvage. On se sert de la chaleur des réservoirs de liqueur noire pour préchauffer les copeaux dans ce réservoir, de sorte qu'on n'a pas besoin de vapeur vive. Les besoins d'électricité pour les opérations de transport sont évalués à 20 kWh/t.a. [3].



Lessiveur

Une usine moderne de pâte kraft utiliserait un procédé de cuisson continue dans un lessiveur Kamyr. L'indice kappa visé (pour les résineux) serait de 30 afin de préserver le rendement du bois. Ce

Tableau I. Usine moderne de pâte kraft commerciale – Consommation de vapeur et d'électricité

	Vapeur (GJ/t.a.)	*Électricité (kWh/t.a.)*
Transport des copeaux	0	20
Lessiveur	1,7	40
Lavage et tamisage	0	30
Délignification à l'oxygène	0,5	75
Blanchiment	2,3	100
Machine à pâte	2,3	141
Évaporateurs de liqueur noire	3,1	30
Centrale thermique	2,3	60
Four à chaux et caustification	0	50
Alimentation en eau chaude	0	32
Traitement des eaux usées	0	30
Divers	0	30
Consommation totale	**12,2**	**638**

Tableau II. Usine moderne de pâte kraft commerciale – Production de vapeur et d'électricité

	Vapeur (GJ/t.a.)	*Électricité (kWh/t.a.)*
Chaudière de récupération	15,8	655
Production totale	**15,8**	**655**

Tableau III. Usine moderne de pâte kraft commerciale – Besoins en énergie achetée

	Vapeur (GJ/t.a.)	*Électricité (kWh/t.a.)*	*Gaz naturel (GJ/t.a.)*
Quantité achetée (surplus)	0,0	(17)	1,2

procédé nécessiterait 1,7 GJ/t.a. de vapeur vive [3] et 40 kWh/t.a. d'électricité [3].

Lavage et classage

L'usine a recours à des laveurs hautement efficaces, comme des filtres pressurisés, pour le lavage de la pâte écrue. La concentration de la pâte à l'admission de ces

laveurs est d'environ 4 p. 100, soit plus du double de celle d'une pile laveuse classique, réduisant par le fait même la quantité de liquide de dilution à pomper. Toutefois, le souffleur nécessaire pour mettre le laveur sous pression consomme ces économies d'électricité. Il en résulte un meilleur lavage pour à peu près la même consommation d'énergie. L'atelier de classage est fermé et le classage s'effectue à une concentration de 5 p. 100. La concentration plus élevée réduit les besoins de pompage. Le condensat des évaporateurs de liqueur noire sert d'eau de lavage. On n'utilise pas de vapeur vive pour le lavage et le classage. Les besoins d'électricité sont évalués à 30 kWh/t.a. [3].

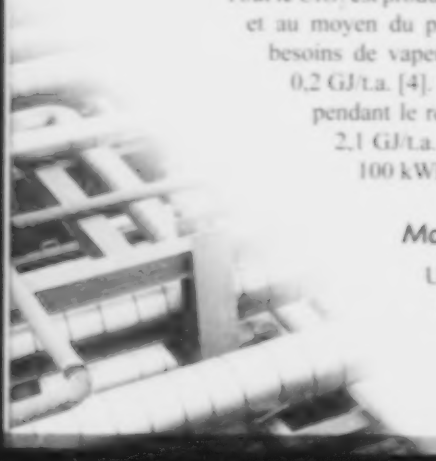
Délignification à l'oxygène

La délignification à l'oxygène sert à délignifier la pâte davantage avant son blanchiment. On obtient une délignification à environ 60 p. 100 en deux stades. L'oxygène est acheté d'un fournisseur externe. Il faut deux stades de lavage après la délignification à l'oxygène, ce qui exige des presses à rouleaux jumelés. La vapeur vive requise pour chauffer les stades à l'oxygène serait de 0,5 GJ/t.a. [3] et ce processus exigerait 75 kWh/t.a. d'électricité.

Blanchiment

Une usine moderne peut obtenir de la pâte entièrement blanchie dans un atelier de blanchiment ECF à quatre stades selon la séquence D_0ED_1D. Des filtres pressurisés hautement efficaces servent au lavage entre les stades de blanchiment. Tous les stades s'effectuent à concentration moyenne afin de réduire les besoins de pompage. Le stade D_0 s'effectue à 60 °C avec du ClO_2 à 0,96 p. 100; le stade E, à 90 °C avec du NaOH à 1,5 p. 100; le stade D_1, à 70 °C avec du ClO_2 à 0,75 p. 100; puis le stade D, à 70 °C avec du ClO_2 à 0,20 p. 100.

Tout le ClO_2 est produit sur place à partir de chlorate de sodium et au moyen du procédé R10. On achète le NaOH. Les besoins de vapeur pour la production de ClO_2 sont de 0,2 GJ/t.a. [4]. Les besoins de vapeur pour le chauffage pendant le reste du blanchiment s'élèvent à environ 2,1 GJ/t.a. L'atelier de blanchiment consommerait 100 kWh/t.a. d'électricité.



Machine à pâte

Une section des presses comportant une double toile sert à obtenir une concentration de 50 p. 100 à l'entrée de la

sécherie de la machine. Cet équipement a permis de réduire la consommation de vapeur à 2,3 GJ/t.a. dans une usine [3]. La consommation d'électricité de cette installation était de 141 kWh/t.a. [3].

Évaporation de la liqueur noire

La liqueur noire faible renferme au départ 15 p. 100 de solides, et elle est ensuite évaporée à 78 p. 100 de solides dans un système d'évaporateurs à sept effets relié à un superconcentrateur intégré. L'économie de vapeur est évaluée à 6,0 kg d'eau par kg de vapeur selon cet arrangement. La liqueur noire contient 1,6 kg de solides par kg de pâte. Les besoins de vapeur pour les évaporateurs sont estimés à 3,1 GJ/t.a. Les évaporateurs consommeraient 30 kWh/t.a. [3] d'électricité.

Centrale thermique

L'usine utiliserait une chaudière de récupération à forte teneur en solides pour obtenir une efficacité chaleur-vapeur de 75 p. 100. La valeur calorifique de la liqueur noire serait d'environ 6 250 Btu/lb de solides (21,0 GJ/t.a. de pâte). L'air de la chaudière est chauffé à 150 °C au moyen de vapeur, et les souffleurs de suie, dont l'utilisation est limitée au minimum, consomment 0,9 GJ/t.a. de vapeur. L'usine récupère 70 p. 100 du condensat de vapeur et la consommation énergétique du désaérateur est de 1,0 GJ/t.a. Des turbines à vapeur à condensation-extraction servent à produire de l'électricité avec un rapport énergie-chaleur de 100 kWh/GJ. La chaudière d'énergie de l'usine brûle des déchets de bois et atteint une efficacité chaleur-vapeur de 70 p. 100. L'usine produit 15,8 GJ/t.a. dans la chaudière de récupération afin de satisfaire aux besoins de chaleur du procédé et aux besoins de production d'électricité. Une turbine à contrepression génère 520 kWh/t.a., tandis que l'excédent de vapeur à haute pression génère 135 kWh/t.a. au moyen d'une turbine à condensation. Le total d'électricité généré par l'usine est donc de 655 kWh/t.a. La centrale thermique consomme environ 60 kWh/t.a. [3] d'électricité parasite.

Four à chaux et caustification

Le four a recours à des séchoirs-éclair et des refroidisseurs pour minimiser la consommation d'énergie. On se sert de gaz naturel pour obtenir les 1,2 GJ/t.a. d'énergie calorifique dont on a besoin. Les filtres pressurisés servent à séparer

les solides des liqueurs de procédé. Les besoins d'électricité sont de 50 kWh/t.a. [3].

Système d'eau chaude

On produit de l'eau tiède (50 °C) en récupérant la chaleur des condenseurs des évaporateurs. L'eau chaude (70 °C) provient de la récupération de la chaleur du condenseur à surface du lessiveur, du refroidissement par décharge à froid de la liqueur et du refroidissement de la liqueur noire. L'eau chaude utilisée dans la machine à pâte est produite par la récupération de la chaleur de la sécherie. Les besoins d'électricité sont de 32 kWh/t.a.

Traitement des eaux usées

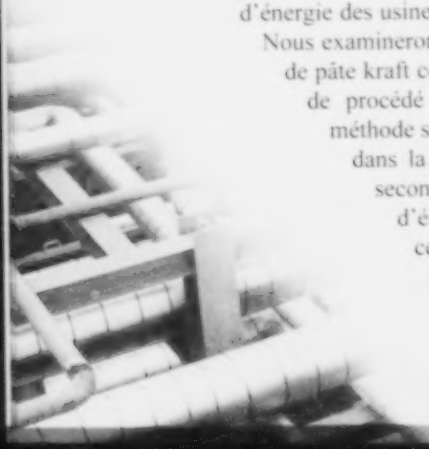
On traite l'effluent de l'usine au moyen d'un clarificateur primaire et d'une lagune secondaire à boues activées. L'effluent total de l'usine est de 35 m^3/t.a. Il faut une tour de refroidissement pour éliminer la chaleur excédentaire du procédé. Les besoins d'électricité sont de 30 kWh/t.a. pour l'aération et le pompage.

Divers

Cette section comprend le chauffage, la ventilation et la climatisation, l'éclairage, les services de bureau, etc. Aucune vapeur vive n'est requise. Les besoins d'électricité s'élèvent à environ 30 kWh/t.a.

CONSOMMATION D'ÉNERGIE DANS LES USINES DE PÂTE KRAFT COMMERCIALE EXISTANTES ET LES USINES MODÈLES

Il existe de nombreuses façons d'évaluer la consommation d'énergie des usines dans le cadre d'analyses comparatives. Nous examinerons deux méthodes applicables aux usines de pâte kraft commerciale : la consommation d'énergie de procédé et les achats d'énergie. La première méthode sert à mesurer l'énergie spécifique utilisée dans la fabrication de la pâte et du papier. La seconde est influencée par cette consommation d'énergie de procédé et par la façon dont cette énergie est distribuée aux divers secteurs de la fabrication.



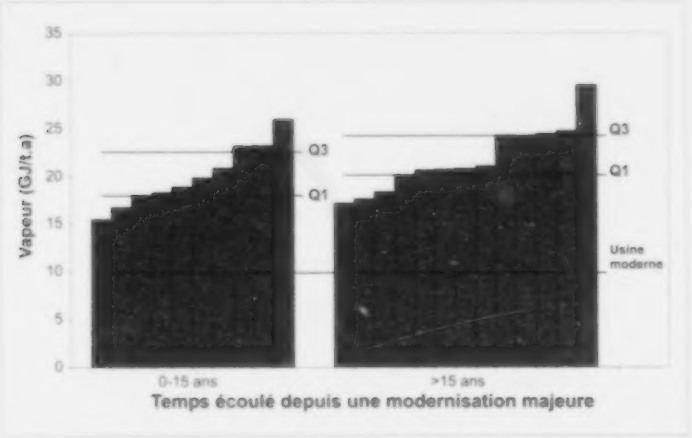


Figure 1. Consommation de vapeur de procédé – Usines de pâte kraft.

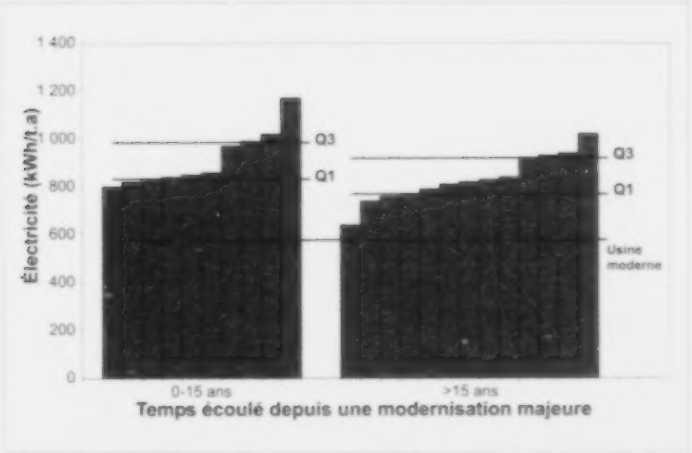


Figure 2. Consommation d'électricité de procédé – Usines de pâte kraft.

Elle permet de mesurer les coûts de l'énergie et ce, sur les plans économique et environnemental.

Les figures 1 et 2 présentent la consommation de vapeur et d'électricité dans les usines canadiennes de pâte kraft

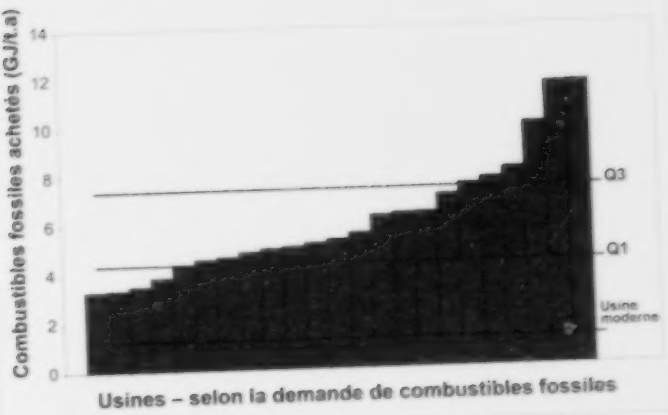


Figure 3. Besoins en combustibles fossiles achetés – Usines de pâte kraft.

commerciale. Ces niveaux de consommation ont été calculés à partir des données du *Energy Monitoring Report* de l'APFC pour 1999 [2]. Les usines de pâte kraft sont regroupées selon le temps écoulé depuis leur dernière modernisation majeure. Les figures indiquent également les besoins de vapeur et d'électricité de l'usine modèle de pâte kraft.

Les données présentées aux figures 1 et 2 indiquent que les usines plus anciennes et les usines modernisées ont une consommation d'énergie supérieure à celle de l'usine moderne. De plus, on constate peu de différence entre la consommation d'énergie des usines plus anciennes et celle des installations modernisées. La consommation de vapeur des premier et troisième quartiles chez les anciennes usines ne dépasse que légèrement celle des usines modernisées; la consommation d'électricité des usines plus anciennes est légèrement inférieure à celle des usines modernisées. Certaines des installations les plus vieilles font partie des plus faibles consommateurs de vapeur et d'électricité de procédé. Donc, les usines nouvelles et les usines modernisées n'atteignent pas les niveaux optimums de consommation énergétique caractéristiques d'une usine moderne.

Les achats de combustibles fossiles et d'électricité pour les usines de pâte kraft sont présentés dans les figures 3 et 4. Les achats d'énergie sont légèrement supérieurs à ceux de l'usine moderne pour

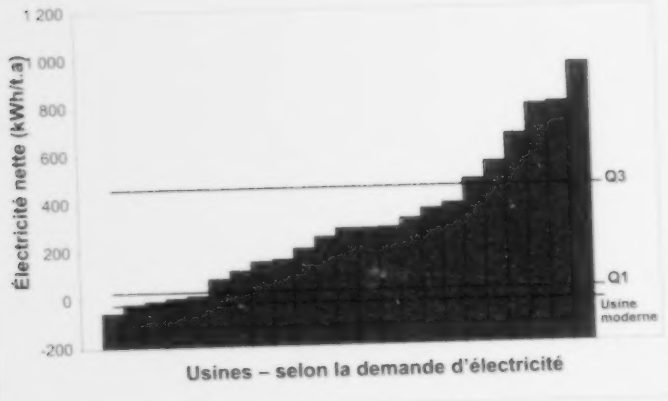


Figure 4. Demande d'électricité nette – Usines de pâte kraft.

deux raisons. D'une part, l'énergie spécifique utilisée dans la fabrication de la pâte et du papier dépasse celle de l'usine moderne. D'autre part, la façon dont cette énergie est distribuée influence la quantité d'énergie achetée. La demande réduite en vapeur pour alimenter le procédé dans l'usine moderne permet de générer plus d'électricité que dans une usine typique, au moyen d'une turbine à condensation.

L'usine moderne consomme du combustible fossile (1,2 GJ/t.a.) principalement pour le fonctionnement du four à chaux. Une partie du combustible fossile sert au démarrage de la chaudière de récupération après un arrêt de production, mais cette quantité serait minime. L'usine moderne comporte aussi une chaudière d'appoint alimentée au combustible fossile pour fournir de la vapeur en périodes de transition ou de difficultés. Les usines canadiennes de pâte kraft ont acheté en moyenne 5,99 GJ/t.a. de combustible fossile en 1999, soit 4,24 GJ/t.a. de gaz naturel et 1,75 GJ/t.a. de mazout et d'autres combustibles fossiles. Si l'on présume un coût de 3,40 $/GJ pour le gaz naturel et de 4,03 $/GJ pour le mazout, l'usine moderne paie 17,39 $/t.a. de moins que l'usine canadienne moyenne pour les combustibles fossiles qu'elle consomme.

L'usine moderne répond à tous ses besoins d'électricité grâce à des turbines à condensation et à contre-pression, avec un léger

surplus de 17 kWh/t.a. On observe d'importants écarts dans les achats d'électricité (figure 4), qui résultent des variations de la quantité d'énergie produite par les usines. Les achats d'électricité moyens s'élèvent à 272 kWh/t.a. Si l'on présume un coût de 0,04 $/kWh pour l'électricité, les coûts d'électricité de l'usine moderne sont de 11,56 $/t.a. inférieurs à ceux de l'usine canadienne moyenne.

On peut donc en conclure qu'il est possible de réaliser d'importantes économies en optimisant l'utilisation de l'énergie dans les usines de pâte kraft commerciale. Les économies possibles pour une usine peuvent rapidement être estimées. Premièrement, il faut choisir une cible servant de repère; nous recommandons de choisir une cible à partir des figures 1 et 2 à mi-chemin entre le premier quartile et le rendement optimal de l'usine moderne pour la vapeur et l'électricité de procédé. On soustrait ensuite ces chiffres des niveaux de consommation actuels et on multiplie le résultat par les coûts d'énergie différentiels. Cette référence rapide peut aider les usines à établir des priorités parmi leurs objectifs énergétiques.

USINE DE PAPIER JOURNAL MODÈLE

L'usine de papier journal modèle renferme un atelier de pâte et une machine à papier, et est dotée d'un système de traitement des effluents. La fibre utilisée par une usine moderne comprendrait de la pâte thermomécanique (PTM) ou des matières recyclées, selon la disponibilité de la fibre et les exigences du marché. Les besoins énergétiques pour la fabrication de la pâte et du papier sont décrits dans les sections qui suivent.

Atelier de pâte thermomécanique

Le tableau IV présente la consommation énergétique d'un atelier de PTM moderne. L'usine produit de la PTM afin de fabriquer du papier journal à partir de copeaux de résineux. Jackson et Wild ont estimé la consommation énergétique d'un atelier de PTM à chaîne unique ayant une capacité de 500 tonnes séchées à l'air (t.a.) [5]. L'énergie spécifique de raffinage totale serait de 2 400 kWh/t.a., un niveau typique des ateliers de PTM utilisant des copeaux d'épinette noire pour produire du papier journal [5]. À titre de comparaison, on peut se référer à un audit industriel détaillé mené par Nygaard [6] pour des usines de PTM

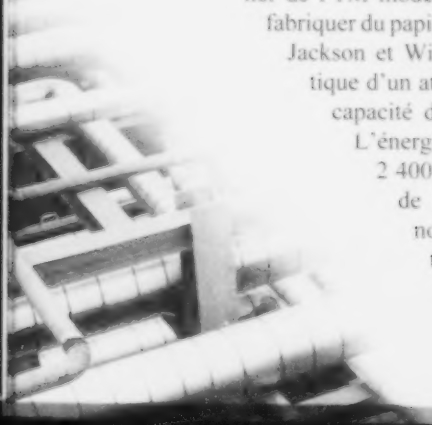


Tableau IV. Atelier de PTM – Consommation de vapeur et d'électricité

	Vapeur (GJ/t.a.)	*Électricité (kWh/t.a.)*
Manutention des copeaux		40
Raffineurs		2 160
Pompes, tamis, agitateurs, souffleurs		240
Récupération de chaleur	-5,5	10
Total PTM	**-5,5**	**2 450**

suédoises, la plupart produisant du papier journal. Ces usines avaient toutes la même demande d'énergie externe moyenne, soit environ 2 420 kWh/t.a.

La quantité d'énergie de raffinage pour la PTM est influencée par l'essence du bois; les essences canadiennes courantes comme le pin exigent plus d'énergie que l'épinette noire [7]. La quantité d'énergie de raffinage dépend aussi de la catégorie de papier, les papiers impression de qualité supérieure à base de pâte mécanique exigeant plus d'énergie. Bien qu'il existe de nouveaux procédés pour réduire quelque peu l'énergie de raffinage [8], l'industrie n'a pas encore atteint un rendement constant.

Les usines modernes de papier journal et de PTM ont recours à la récupération de chaleur pour récupérer une partie de l'énergie de raffinage sous forme de vapeur propre sous pression. La production de vapeur propre présentée au tableau IV a été calculée en fonction de la récupération de chaleur de la vapeur provenant des raffineurs principaux et des raffineurs de rejets par un rebouilleur [5]. La production de vapeur estimée pour l'usine de PTM moderne, soit 5,5 GJ/t.a., est équivalente à la production de vapeur possible calculée par Nygaard, soit 5,2 GJ/t.a., pour la même énergie de raffinage spécifique [6]. La production de vapeur excédentaire moyenne pour les usines de PTM suédoises en 1994 était inférieure, soit d'environ 4,4 GJ/t.a. [6].

Usine de fibre recyclée

La consommation d'électricité d'une usine de fibre recyclée moderne produisant de la pâte

désencrée (PD) pour la fabrication de papier journal s'établit à 400 kWh/t.a. [3]. La demande d'énergie externe moyenne pour les usines de fibre recyclée de Suède en 1994 était inférieure, soit d'environ 330 kWh/t.a. [6]. La consommation de vapeur d'une usine de fibre recyclée moyenne est de 0,8 GJ/t.a., selon l'usine modèle décrite dans l'analyse de Nygaard [6]. La demande de chaleur de combustible moyenne pour les usines de Suède en 1994 était inférieure, soit d'environ 0,3 GJ/t.a. [6].

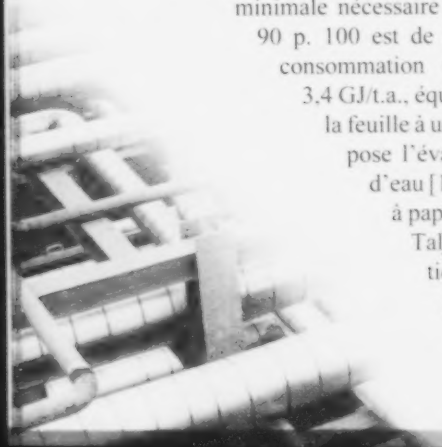
Machine à papier

Le tableau V indique la consommation énergétique d'une machine à papier journal moderne [9]. La consommation d'électricité moyenne pour les usines de papier journal suédoises en 1994 était supérieure, soit d'environ 440 kWh/t.a. [6]. Talja et collab. ont mesuré une consommation d'électricité de 344 kWh/t.a. pour une machine moderne produisant du papier de catégorie SC [10].

Tableau V. Machine à papier journal – Consommation de vapeur et d'électricité

	Vapeur (GJ/t.a.)	*Électricité (kWh/t.a.)*
Préparation de la pâte	0,7	100
Formation, pressage	0,3	140
Séchage, finition, systèmes auxiliaires	3,4	90
Consommation totale	**4,4**	**330**

La vapeur nécessaire au séchage du papier dépend de la concentration de la feuille après la section des presses et de l'efficacité de la machine. Nilsson et collab. ont indiqué que l'énergie de séchage minimale nécessaire pour une concentration allant de 50 à 90 p. 100 est de 2,26 GJ/t.a. de papier produit [3]. La consommation de vapeur de séchage, qui est de 3,4 GJ/t.a., équivaut à la vapeur nécessaire pour sécher la feuille à une concentration de 43 p. 100 si l'on suppose l'évaporation de 1,25 kg de vapeur par kg d'eau [11] et des pertes de 10 p. 100 à la machine à papier en raison du découpage et des casses. Talja et collab. ont mesuré une consommation de vapeur totale de 2,71 GJ/t.a. pour une machine moderne produisant du papier SC [10].



Traitement des effluents

Le système de traitement des effluents comprend une clarification primaire et un traitement de boues activées. Sa consommation d'électricité est de 60 kWh/t.a. [5].

Usine de papier journal intégrée

La consommation énergétique de trois usines de papier journal intégrées modernes est présentée dans le tableau VI. Ces usines fabriquent leur produit à partir de PTM, de PD ou d'une combinaison de 80 p. 100 de PTM + 20 p. 100 de PD. La teneur en fibre recyclée du papier journal produit par les usines de papier journal et de PTM-PD correspond à la teneur moyenne du papier journal produit par les usines décrites dans le *Energy Monitoring Report* de l'APFC [2].

Les différences de consommation de vapeur et d'électricité entre les trois usines s'expliquent par la quantité d'énergie nécessaire pour la mise en pâte et la récupération de chaleur. La production de PD exige moins d'énergie que la fabrication de la PTM, mais elle ne produit pas de vapeur pouvant être récupérée et utilisée dans la machine à papier. La possibilité de production de vapeur propre par récupération de la chaleur dans l'usine de papier journal avec PTM est supérieure aux besoins de vapeur de la machine à papier, ce qui donne une production de vapeur nette de 1,1 GJ/t.a.

La consommation d'énergie des usines de papier journal avec PTM et des usines de papier journal avec PD selon le tableau VI est semblable à celle qui a été obtenue par Lähepelto dans une étude menée par Jaakko Pöyry [12]. La consommation d'énergie d'une usine moderne de papier journal avec PTM était de -1,33 GJ/t.a. de chaleur et de 2 190 kWh/t.a. d'électricité [12]. La consommation d'électricité varie selon l'énergie spécifique utilisée pour le raffinage de la PTM. La consommation d'énergie signalée pour une usine moderne de papier journal avec PD était de 5,27 GJ/t.a. de chaleur et de 870 kWh/t.a. d'électricité [12].

Le tableau VII présente la consommation d'énergie achetée pour les trois usines de papier journal intégrées modernes. L'usine de papier journal avec PTM n'a pas besoin de produire de la vapeur en brûlant des combustibles fossiles durant le fonctionnement normal de son atelier de PTM en raison de la vapeur

Tableau VI. Usine moderne de papier journal – Consommation de vapeur et d'électricité

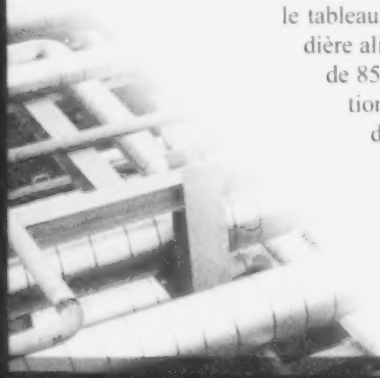
	PTM		*PD*		*80 % PTM + 20 % PD*	
	Vapeur (GJ/t.a.)	*Électricité (kWh/t.a.)*	*Vapeur (GJ/t.a.)*	*Électricité (kWh/t.a.)*	*Vapeur (GJ/t.a.)*	*Électricité (kWh/t.a.)*
PTM	-5,5	2 450			-4,4	1 960
Pâte désencrée (PD)			0,8	400	0,2	80
Machine à papier	4,4	330	4,4	330	4,4	330
Traitement des effluents		60		60		60
Consommation totale	**-1,1**	**2 840**	**5,2**	**790**	**0,2**	**2 430**

Tableau VII. Usine moderne de papier journal – Consommation d'énergie

	PTM	*PD*	*80 % PTM + 20 % PD*
Électricité (kWh/t.a.)	2 840	790	2 430
Combustibles fossiles (GJ/t.a.)	0,5	6,1	0,8

excédentaire produite par la récupération de chaleur. Par contre, il lui faut un système de vapeur auxiliaire incluant une chaudière autonome et un accumulateur de vapeur pour produire de la vapeur de procédé lors d'un arrêt de production à l'atelier de PTM [5]. On présume dans le tableau VII qu'une chaudière alimentée au gaz naturel produirait une quantité de vapeur auxiliaire équivalant à 10 p. 100 de la consommation de vapeur de la machine à papier avec une chaudière efficace à 85 p. 100.

L'usine de papier journal avec PD a besoin de vapeur parce qu'elle utilise moins d'énergie pour la mise en pâte et parce qu'elle ne récupère pas de chaleur. La vapeur peut provenir de deux sources. D'une part, l'usine pourrait brûler des combustibles fossiles et des boues pour produire de la vapeur. On présume dans le tableau VII que la vapeur proviendrait d'une chaudière alimentée au gaz naturel et ayant une efficacité de 85 p. 100. D'autre part, un atelier de cogénération faisant appel à une turbine à gaz pourrait produire de la vapeur et de l'électricité. Si l'on présume un rapport énergie-vapeur s'approchant de 1:1, l'atelier de cogénération produirait de l'électricité excédentaire qui pourrait être vendue [13].



L'usine de papier journal avec PTM et PD satisfait la plus grande partie de ses besoins de vapeur grâce à la récupération de chaleur dans des conditions d'exploitation normales. Toutefois, il lui faut également un système de vapeur auxiliaire pour produire de la vapeur de procédé pendant des arrêts de production à l'atelier de PTM. On présume dans le tableau VII qu'une chaudière alimentée au gaz naturel produirait 0,2 GJ/t.a. de vapeur continue et une quantité de vapeur auxiliaire équivalant à 10 p. 100 de la consommation de vapeur de la machine à papier avec une chaudière efficace à 85 p. 100.

On suppose que l'usine de papier journal moderne récupère de la chaleur des raffineurs principaux et des raffineurs de rejets. Certaines usines peuvent décider de ne pas récupérer la vapeur des raffineurs de rejets, ce qui a pour effet d'augmenter la demande de vapeur de la chaudière d'énergie. Cette demande de vapeur serait satisfaite par le brûlage de déchets de bois et de boues. En 1999, les usines canadiennes de papier journal ont produit 3,97 GJ/t.a. de vapeur à partir de déchets de bois et de boues [2]. Donc, cette récupération de chaleur plus faible n'aurait pas nécessairement pour effet de faire grimper la consommation de combustibles fossiles ni les émissions de GES.

CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DES USINES DE PAPIER JOURNAL EXISTANTES ET DES USINES MODÈLES

Les figures 5 et 6 présentent la consommation de vapeur et d'électricité de procédé des usines de papier journal. Ces niveaux de consommation ont été calculés à partir de données contenues dans le *Energy Monitoring Report* de l'APFC pour 1999 [2]. Les usines incluses dans l'étude de l'APFC utilisaient de la PTM ou de la fibre recyclée, la teneur moyenne en matières recyclées étant d'environ 20 p. 100.

Dans la figure 5, on constate que la consommation de vapeur de procédé varie de 2,52 à 12,69 GJ/t, ce qui dépasse la demande de l'usine de papier journal moderne, soit 0,64 GJ/t. Cet important écart résulte des différences dans la quantité de vapeur utilisée dans le procédé et des niveaux variables de récupération de la chaleur à partir des raffineurs. La teneur en fibre recyclée a aussi une influence sur la consommation de

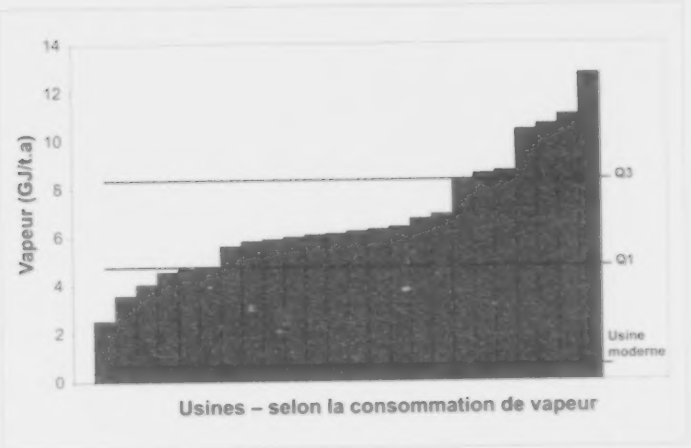


Figure 5. Consommation de vapeur de procédé – Usines de papier journal.

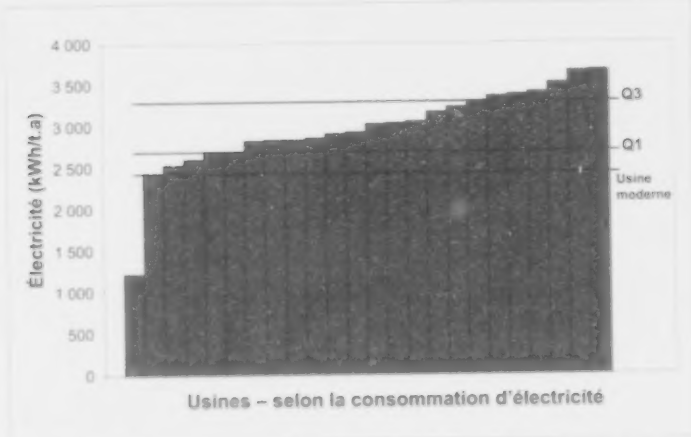


Figure 6. Consommation d'électricité de procédé – Usines de papier journal.

vapeur, puisqu'une usine de fibre recyclée ne dispose pas de vapeur de raffinage pour la récupération de chaleur.

Les achats de combustible fossile des usines de papier journal sont présentés dans la figure 7. Ces achats sont

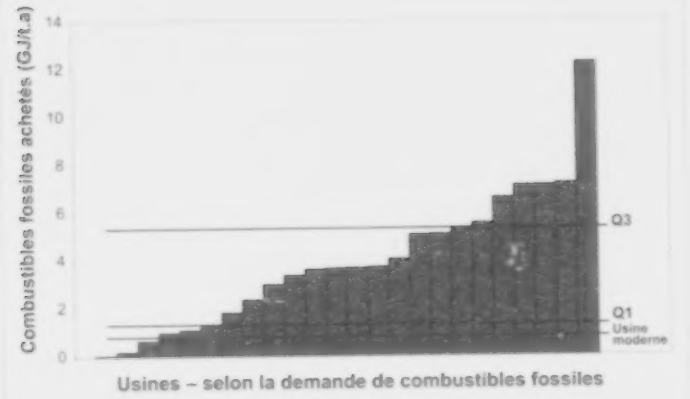


Figure 7. Besoins en combustibles fossiles achetés – Usines de papier journal.

généralement supérieurs à ceux de l'usine moderne en raison d'une plus grande consommation de vapeur du procédé et d'une récupération de chaleur inférieure. Certaines usines utilisent de grandes quantités de déchets de bois pour produire de la vapeur, ce qui a pour effet de réduire les achats de combustible fossile.

L'usine moderne obtient la plus grande partie de ses besoins de vapeur en récupérant la chaleur dans des conditions d'exploitation normales. Elle n'utilise des combustibles fossiles (0,80 GJ/t) que pour obtenir de la vapeur auxiliaire pendant les perturbations. L'usine de papier journal moyenne achetait 3,56 GJ/t en 1999, soit 1,80 GJ/t de gaz naturel et 1,73 GJ/t de mazout et d'autres combustibles fossiles. Elle achetait également 0,90 GJ/t de vapeur. Les coûts de l'énergie thermique (combustibles fossiles et vapeur) pour l'usine moderne sont de 16,69 $/t.a. inférieurs à ceux de l'usine canadienne moyenne, si l'on suppose que la vapeur achetée est produite en brûlant du gaz naturel.

La consommation d'électricité de procédé, illustrée dans la figure 6, variait de 1 220 à 3 660 kWh/t.a. Ces différents niveaux de consommation d'électricité s'expliquent en partie par les variations de la teneur en fibre recyclée et de l'énergie de

raffinage de la PTM. La consommation d'électricité moyenne s'élevait à 2 850 kWh/t.a. La plupart des usines utilisaient plus d'électricité que ce qu'on prévoyait pour l'usine moderne de papier journal et de PTM-PD, soit 2 430 kWh/t.a. Toutefois, la majeure partie de l'électricité utilisée dans une usine de papier journal et de PTM-PD sert au raffinage de la PTM. Donc, une bonne partie de l'augmentation de la consommation énergétique s'explique probablement par l'essence de bois utilisée et la catégorie de papier fabriqué. Des changements apportés aux opérations de pompage et d'agitation dans l'usine peuvent entraîner une baisse globale de 5 p. 100 de la consommation d'électricité, pour des économies potentielles d'environ 5,70 $/t.a.

Bref, on constate des possibilités d'économie considérables par l'optimisation de la consommation d'énergie dans les usines de papier journal. Les économies qu'une usine en particulier peut réaliser au chapitre des combustibles fossiles peut être estimée de la même manière que pour les usines de pâte kraft. Les économies possibles sur le plan de l'électricité sont plus difficiles à évaluer, puisque la forte consommation d'électricité imputée aux activités de raffinage est régie par des exigences relatives à la qualité du produit.

RÉDUCTION DES COÛTS DE L'ÉNERGIE DANS LES USINES EXISTANTES

La transformation d'une usine existante pour qu'elle réponde aux spécifications de l'usine modèle exige souvent des investissements considérables, et il arrive que ce projet ne soit pas économiquement réalisable quand les coûts de l'énergie en sont l'unique avantage. Toutefois, il existe d'importantes possibilités de réduction de la consommation d'énergie à un coût raisonnable dans les usines de pâte et de papier existantes [14, 16]. La référence 14 donne une explication détaillée des meilleures pratiques et décrit une série d'outils de planification d'une approche systématique permettant d'appliquer ces meilleures pratiques dans les installations actuelles. La référence 14, qui sert de base pour un cours abrégé sur l'efficacité énergétique présenté par l'Association technique des pâtes et des papiers du Canada (ATPPC), est résumée dans la référence 15 et dans les paragraphes qui suivent.

Revue de la direction

Avant de mettre en œuvre un programme d'économie d'énergie dans une usine, il faut souvent transformer sa culture. Les changements culturels commencent au niveau de la haute direction. Les dirigeants doivent en effet s'engager dans le processus, élaborer un plan d'action rationnel, offrir le leadership nécessaire et allouer des ressources suffisantes. Un programme d'économie d'énergie peut entraîner d'importants avantages, mais on constate plus souvent un grand nombre de petits gains. Donc, il faut des efforts continus pour maintenir les avantages le plus longtemps possible après la réalisation des projets.

L'analyse comparative est l'une des premières étapes que doivent entreprendre les usines. Cette étape permet à la haute direction de comparer le rendement de son usine à celui d'usines similaires ou d'une usine modèle représentant les meilleures pratiques actuelles. Elle offre la motivation nécessaire pour chercher des occasions d'économie d'énergie dans toutes les opérations.

Par ailleurs, il faut mettre en place un programme d'efficacité énergétique. Ce programme doit être dirigé par un ingénieur et il faut que des ressources suffisantes lui soient allouées. L'ingénieur doit ainsi être assisté d'une équipe du personnel de l'usine, de consultants externes et d'autres experts provenant de différents secteurs de l'usine. Comme l'explique la référence 1, cette équipe multidisciplinaire verra aux détails de la mise en œuvre du programme.

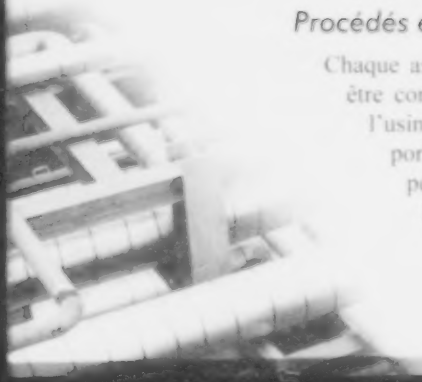
Analyse des procédés et optimisation énergétique

Les usines existantes comptent souvent plusieurs chaînes de production de pâte et de papier installées à des intervalles de 10 ou 20 ans depuis leur construction originale. Dans bien des cas, le matériel original a été enlevé, mais le matériel auxiliaire comme les systèmes d'approvisionnement en vapeur ou en eau sont toujours en place. On y trouve aussi de nouveaux systèmes de traitement des effluents et peut-être même de nouvelles chaudières ou usines de cogénération installées à des intervalles variables. Au moment de l'installation, chaque nouveau système a été plus ou moins bien intégré aux systèmes en place, de sorte qu'il existe souvent une forte interdépendance entre les anciens et les nouveaux systèmes. En raison de cette complexité, il est difficile

de s'assurer que les économies d'énergie réalisées dans une partie de l'installation n'entraîneront pas de pertes ailleurs. Il est essentiel d'élaborer une approche basée sur l'ingénierie des systèmes pour s'assurer que tout projet d'efficacité énergétique aura pour effet de réduire la consommation énergétique de l'ensemble de l'usine au lieu de déplacer la consommation d'énergie d'un service à un autre.

L'outil d'analyse des procédés le plus simple est la simulation par ordinateur des bilans massique et énergétique de l'usine. Le personnel de l'usine peut ainsi formuler des hypothèses et intégrer des projets dans le modèle informatique pour vérifier leur effet sur la consommation énergétique de l'ensemble de l'installation. Les modèles peuvent également servir à prédire les variations saisonnières des économies d'énergie imputables aux changements de température de l'eau fraîche. Enfin, une simulation dynamique permet d'analyser le comportement du système en régime instable et, par le fait même, d'évaluer l'effet d'un changement apporté au procédé sur le comportement pendant les perturbations du procédé.

Toutefois, la formulation d'hypothèses exige souvent beaucoup de temps et n'aboutit pas nécessairement aux meilleures solutions. Les outils d'intégration des procédés, comme l'analyse de pincement, permettent de définir le niveau de consommation d'énergie minimal théorique d'un procédé et d'élaborer des directives relatives aux modifications devant être apportées pour atteindre ce niveau minimal. L'analyse de pincement est un outil fort utile qui doit être néanmoins utilisé avec rigueur, car de nombreux obstacles peuvent empêcher un projet de récupération de chaleur en particulier d'être réalisé. En outre, le niveau de consommation énergétique minimal peut exiger d'importants investissements et les projets de récupération de chaleur ne sont pas tous économiquement réalisables à un prix donné de l'énergie. Par contre, le simple fait de connaître le niveau de consommation minimal théorique devient un puissant motivateur pour améliorer l'efficacité et réduire le gaspillage.



Procédés et matériel de procédé

Chaque aspect d'un procédé dans une usine doit être comparé à la moyenne de l'industrie et à l'usine modèle pour voir où il se situe par rapport aux meilleures pratiques et comment on peut l'améliorer. La référence 14 traite de la consommation énergétique d'usines de pâte chimique, de pâte mécanique et de pâte désencrée, de machines à papier

et de secteurs tels les centrales thermiques, les chaufferies, les installations de cogénération et les systèmes de traitement des effluents. On y retrouve également des conseils sur le choix et le contrôle des pompes et des ventilateurs. En outre, les références 16 et 17 donnent des exemples de projets réalisés dans des usines, accompagnés d'estimations des coûts en capital et des économies réalisées sur les coûts d'exploitation. Enfin, chaque secteur de l'usine est décrit en détail dans le cours de l'ATPPC intitulé « Improving Energy Efficiency in the Pulp and Paper Industry ».

Stratégies d'achat d'énergie

Compte tenu du contexte de déréglementation, l'achat d'énergie comporte des défis et les variations des prix peuvent avoir un impact important sur les activités d'une usine. Les décisions concernant les sources d'énergie doivent donc viser un certain nombre d'objectifs : exigences opérationnelles de l'usine, nécessité de réduire les coûts, obligation de réduire les émissions de CO_2 et élimination des résidus de scieries et autres. La restructuration des marchés de l'énergie offre des occasions de réaliser des économies au chapitre des achats d'énergie à condition que les usines puissent faire preuve de souplesse dans leur consommation. Il peut être nécessaire de transformer la culture pour pouvoir exploiter ces occasions, notamment par une gestion plus active des demandes d'énergie et par une intégration accrue des fonctions de gestion et d'achat d'énergie. Les outils de gestion des risques financiers prendront de l'importance à mesure que les marchés de l'énergie seront déréglementés.

Identification et choix des projets

Le choix des projets fait partie des tâches courantes du personnel de l'ingénierie d'une usine, qui doit calculer le délai de récupération, le rendement des investissements et d'autres indicateurs économiques. Toutefois, il faut aussi tenir compte d'un certain nombre de préoccupations dans le classement des projets visant à améliorer l'efficacité énergétique.

Par exemple, l'ordre dans lequel une série de projets est réalisée peut avoir un impact sur le rendement total. Ainsi, tout projet dans le cadre duquel la chaleur est transférée à l'eau d'appoint de la chaudière n'aboutira pas à des économies

continues si, à une date ultérieure, d'autres projets visant entre autres à réduire la consommation de vapeur ou à améliorer le retour de condensat ont pour effet de diminuer le débit de l'eau d'appoint. Il est important de tenir compte de ces effets croisés au début du processus de sélection des projets.

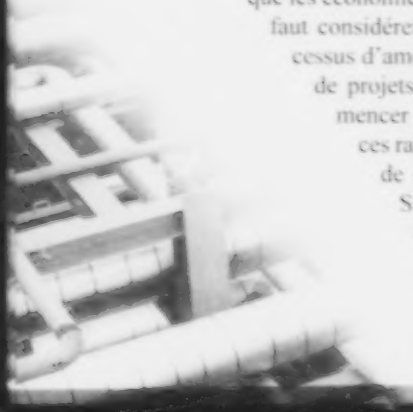
En outre, le fait de réduire les émissions de carbone peut entraîner des avantages économiques. L'échange des droits d'émissions est une réalité tout à fait nouvelle qui pourrait procurer des revenus substantiels à mesure que les programmes visant à limiter les émissions de gaz à effet de serre acquerront de la notoriété auprès des organismes législatifs et réglementaires. Il peut arriver que les avantages économiques découlant de la réduction de la consommation d'énergie dépassent les économies dues simplement aux coûts d'énergie, et pourraient inclure un crédit pour chaque tonne de réduction des émissions de carbone rendue possible par la réduction de la consommation de combustibles fossiles ou par le remplacement d'un combustible sale par un autre plus propre.

Enfin, il faut également considérer les possibilités de réduire la consommation d'énergie lorsqu'on planifie des augmentations de production ou des améliorations à la qualité du produit. On obtient souvent de meilleurs délais de récupération au moyen d'un investissement additionnel, peut-être minime, pour acquérir de l'équipement plus efficace ou améliorer les méthodes de traitement que si le projet énergétique était considéré seul à une date ultérieure.

Tout programme visant à améliorer l'efficacité énergétique doit tenir compte de ces préoccupations et d'autres méthodes de classement des projets.

Surveillance et amélioration continues du rendement

Une fois que les budgets d'immobilisations ont été alloués et les projets réalisés, il est important d'être en mesure de démontrer que les économies se répètent d'année en année. De plus, il faut considérer l'efficacité énergétique comme un processus d'amélioration continue : une fois qu'une série de projets a été réalisée, il est important de commencer à planifier la phase suivante. C'est pour ces raisons qu'il faut mettre en place un système de surveillance et d'amélioration continues. S'appuyant sur du matériel, des logiciels et des pratiques de gestion, ces systèmes s'assurent qu'une fois qu'une conduite de vapeur est fermée, elle reste fermée.



qu'une fois qu'un processus a été corrigé, il demeure corrigé et que les avantages économiques continuent de s'accumuler.

CONCLUSION

Il existe des possibilités considérables de réduction de la consommation d'énergie dans les usines de pâte et de papier. L'usine de pâte kraft modèle peut fonctionner avec 9,9 GJ/t.a. de vapeur de procédé, 1,2 GJ/t.a. de combustibles fossiles et 578 kWh/t.a. d'électricité. Les demandes de vapeur et d'électricité peuvent être satisfaites par le brûlage de la liqueur de cuisson usée et des déchets de bois associés à l'approvisionnement en copeaux. Donc, la seule énergie achetée est le 1,2 GJ/t.a. de combustibles fossiles requis par le four à chaux. Toutefois, l'usine de pâte kraft moyenne achète beaucoup plus d'énergie que cela: 5,99 GJ/t.a. de combustibles fossiles et 272 kWh/t.a. d'électricité.

L'usine de papier journal modèle utilise 80 p. 100 de PTM et 20 p. 100 de PD. Elle peut fonctionner avec 0,2 GJ/t.a. de vapeur et 2 430 kWh/t.a. d'électricité. Ces principaux besoins de vapeur sont satisfaits à l'interne par la récupération de chaleur des raffineurs. L'énergie achetée consiste essentiellement en électricité (2 430 kWh/t.a.), et il ne lui faut que 0,8 GJ/t.a. de combustibles fossiles pour maintenir la demande de vapeur de 0,2 GJ/t.a. et fournir la vapeur auxiliaire pendant les perturbations de fonctionnement dans l'atelier de PTM. L'usine de papier journal moyenne achète 2 850 kWh/t.a. d'électricité et beaucoup plus de vapeur et de combustibles fossiles, soit 4,46 GJ/t.a.

Un programme d'efficacité énergétique peut aider les usines existantes à réduire leur demande d'énergie et à s'approcher du rendement des usines modèles. La monographie intitulée *Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers* présente une explication détaillée des meilleures pratiques en ce domaine et offre une série d'outils permettant de planifier une approche systématique pour implanter ces meilleures pratiques dans les usines existantes [14]. Cette monographie sert de base au cours abrégé offert par l'Association technique des pâtes et papiers du Canada (ATPPC).

RÉFÉRENCES

1. Connaghan, C. et Wunderlich, R. « Élaboration, mise en œuvre et maintien d'un programme d'efficacité énergétique », dans *Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers*, Browne, T.C., (éd. tech.), Paprican (1999).
2. *Energy Monitoring Report*, exercice terminé le 31 décembre 1999, Association des producteurs forestiers du Canada (APFC).
3. Nilsson, L.J., Larson, E.D., Gilbreath, K.R. et Gupta, A., « Energy Efficiency and the Pulp and Paper Industry », American Council for an Energy-Efficient Economy, Berkeley, CA (1995).
4. Bechberger, E.J., "Reduction of Salt Cake and Production of Caustic from a Chlorine Dioxide Generator," Prétirés de la conférence printanière de 1992 de l'Association canadienne des pâtes et papiers (ACPP), Jasper, Alberta (1992).
5. Jackson, M. et Wild, N. « Fabrication de la pâte mécanique », dans *Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers*, Browne, T.C. (éd. tech.), Paprican (1999).
6. Nygaard, J., Energy aspects on mechanical pulp, chemical pulp and recycled fibres. International Mechanical Pulping Conference:17-27 (1997).
7. Laliberté, D., Shallhorn, P.M. et Karnis, A., Comparison of TMP and CTMP Properties from Spruce and Pine Sawmill Chips. Pulp Paper Can. 88(3):T71-T100 (1987).
8. Corson, S., Mechanics of Making Better Pulp with Less Energy. Pulp Pap. Int. 39(5):61-65 (1997).
9. Publication AF (en suédois), Models for energy conservation in pulp and paper manufacturing. Stockholm, 1978.
10. Talja, R., Kerttula, R. et Karlsson, M., Future paper production line concepts regarding energy and environmental aspects. Das Papier 51(6A):V203-V207 (1997).
11. Persson, B., Drying section: The least developed part of the paper machine. Nordisk Cellulosa 5(5): 75-77 (1988).
12. Lähepelto, J., Rational use of energy in the Finnish paper industry – The sustainable paper energy research programme. Das Papier 51(6A):V200-V203 (1997).
13. Karojärvi, R., Liimatainen, H. et Tapio, M., Impact of advanced co-generation methods on energy demand in mechanical pulping. First EcoPaperTech, an International Conference on Papermaking and Paper-Machine Technology: 303-314 (1995).
14. Réduction des coûts énergétiques dans l'industrie des pâtes et papiers, Browne, T.C. (éd. tech.), Paprican (1999).
15. Browne, T.C., Francis, D.W. et Towers, M.T., Energy cost reduction in the pulp and paper industry: an overview. Pulp Paper Can. 102(2):T34-T38 (2001).
16. A Guide to Energy Savings Opportunities in the Kraft Pulp Industry. Pulp & Paper Technical Association of Canada (PAPTAC) (2000).
17. Possibilités d'économie d'énergie, 4 volumes, PAPTAC (1992, 1993, 1994, 2001).